



TUGAS AKHIR - TE 141599

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN BATERAI
NIRKABEL MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER
TEENSY**

Muhamad Amirul Haq
NRP 07111440000149

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Ir. Tasripan, M.T.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN BATERAI
NIRKABEL MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER
TEENSY**

Muhamad Amirul Haq
NRP 07111440000149

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Ir. Tasripan, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

***DESIGN AND IMPLEMENTATION OF WIRELESS CHARGING
SYSTEM USING TEENSY MICROCONTROLLER***

Muhamad Amirul Haq
NRP 07111440000149

Supervisor
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Tasripan, M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

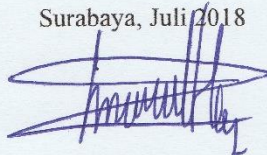
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN BATERAI NIRKABEL MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER TEENSY” adalah benar-benar hasil karya intelektual sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya orang lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Muhamad Amirul Haq
NRP. 07111440000149

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN BATERAI NIRKABEL MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER TEENSY

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
NIP. 196904261994031003

Dosen Pembimbing II



Ir. Tasripan, M.T.
NIP. 196204181990031004



.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

Rancang Bangun Sistem Pengisian Baterai Nirkabel Menggunakan Mikrokontroler Teensy

Nama : Muhamad Amirul Haq
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
2. Ir. Tasripan, M.T.

ABSTRAK

Saat ini pemanfaatan transfer daya nirkabel sudah semakin marak. Hal ini dikarenakan transfer daya nirkabel memiliki kelebihan dimana penggunaannya lebih mudah dikarenakan tidak perlu terjadi kontak secara langsung. Kelebihan ini dapat dimanfaatkan untuk mengisi daya mobile robot secara otomatis. Pada penelitian ini, telah dibuat suatu sistem transfer daya secara nirkabel yang diperuntukkan pada stasiun pengisian baterai. Sistem transfer daya yang telah terealisasi berupa prototype fungsional yang mampu mengisi daya baterai *lead-acid* 6 Volt dengan kapasitas 4,5 Ah. Metode transfer daya nirkabel yang digunakan adalah metode *resonant inductive coupling* yang dapat bekerja secara optimal pada frekuensi 91 kHz berdasarkan iterasi percobaan dari frekuensi 30 kHz-150 kHz. Pembangkitan listrik AC dengan frekuensi tersebut menggunakan H-Bridge yang dikontrol dengan microcontroller Teensy. Transfer daya nirkabel dapat berfungsi secara optimal pada jarak 20 cm. Pada sistem pengisian daya terdapat kontrol pengisian daya *constant current-constant voltage* (CC-CV). Dengan adanya metode kontrol CC-CV, maka diharapkan sistem dapat mengisi daya lebih cepat dan menjaga keawetan baterai lebih lama jika dibandingkan dengan metode kontrol CC atau CV saja. Pada penelitian ini parameter transfer daya nirkabel antara lain jenis rangkaian kompensasi, jarak, dan *duty cycle* dari sumber DC, telah diuji hingga didapatkan efisiensi mencapai 52 persen pada jarak sejauh 20 centimeter.

Kata kunci: Kontrol Pengisian Daya, *Resonant Inductive Coupling*, Transfer Daya Nirkabel.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

Design and Implementation of Wireless Charging System using Teensy Microcontroller

Name : Muhamad Amirul Haq
Supervisor : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
2. Ir. Tasripan, M.T.

ABSTRACT

Nowadays, wireless power transfer is a growing demand in everyday life. Its convenience made it become a necessity to support another technology which require high degree of mobility such as mobile robot. A mobile robot which is designed to be autonomous in an outdoor area need to charge its battery periodically. With the absence of human operator, wireless power transfer can be a solution fto charge it. In this research, a prototype of wireless power transfer which could charge a 6 Volt lead acid battery with 4.5 Ah capacity is made. The wireless transfer method uses resonant inductive coupling to increase its efficiency over certain frequencies. The highest efficiency can be achieved at resonant frequencies which in this research is at 91 kHz. The 91 kHz AC waves are produced by an H-Bridge circuit which is controlled by Teensy, an ARM microcontroller. The prototype can transfer energy wirelessly through 20 cm air gap between transmitter and receiver with up to 52 percent efficiency. The battery charging system use constant current-constant voltage (CC-CV) method to accelerate charging time and preserve battery condition. In this research, several parameters are experimented to investigate the effect of compensation circuit, distance, and duty cycle of DC power source.

Keywords: Charging Control, Resonant Inductive Coupling, Wireless Power Transfer.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat limpahan karunia dan rahmatnya penelitian yang berjudul sistem transfer daya nirkabel bertenaga surya untuk mobile robot ini dapat terselesaikan tepat waktu.

Terima kasih dan rasa hormat saya sampaikan kepada bapak-bapak dosen pembimbing penelitian ini yaitu bapak Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. dan bapak Ir. Tasripan, M.T. karena atas bimbingan beliau sekalian penelitian ini dapat saya selesaikan dengan lancar.

Terima kasih juga tidak lupa saya sampaikan kepada bapak-bapak dosen penguji yaitu bapak Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc., bapak Dr.Eng.Ir. Totok Mujiono, M.Ikom., bapak Dr. Astria Nur Irfansyah, S.T. M.Eng., dan bapak Muhammad Attamimi, B.Eng, M.Eng., Ph.D. atas saran dan masukannya untuk penelitian ini.

Terakhir saya sampaikan terima kasih kepada orang tua, keluarga, pihak manajemen jurusan Teknik Elektro ITS, serta teman-teman saya yang telah mendukung selesainya penelitian ini.

Dalam buku ini, saya sebagai penulis telah memaparkan berbagai eksperimen yang telah dilakukan dalam rangka menjelaskan mengenai sistem transfer daya nirkabel. Setiap percobaan dilakukan menggunakan peralatan riil dan didukung dengan analisis dan data-data yang telah didapatkan berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi. Setiap data yang diambil dapat dipertanggung jawabkan keasliannya dan tidak ada rekayasa yang dilakukan secara sengaja dengan tujuan dan motif apapun.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat digunakan sebagai referensi untuk percobaan serupa kedepannya.

Surabaya, Juli 2018

Muhamad Amirul Haq

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
1.7. Relevansi	6
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Sistem Transfer Daya Nirkabel	7
2.2. <i>Inverter</i>	10
2.3. <i>Rectifier</i>	11
2.4. <i>Lead Acid Battery</i>	11
2.5. Kontrol Pengisian Daya	13
2.6. <i>Teensy 3.5 ARM Based Microcontroller</i>	14
2.7. <i>DC-DC Converter</i>	15
2.8. Panel Surya	16
2.9. <i>Mobile Robot</i>	16
PERANCANGAN SISTEM	17
3.1. Perancangan Mekanik	18
3.2. Perancangan Elektronik Sistem Transfer Daya Nirkabel	20
3.3. Perancangan Perangkat Lunak	24
3.4. Perancangan Kontrol Sumber dan Pengisian Daya	24
PENGUJIAN DAN ANALISIS	27
4.1. Pengujian Sistem Transfer Daya Nirkabel	31
4.2. Pengujian Kontrol Sumber dan Pengisian Daya	42
4.3. Analisis Keseluruhan Pengujian Sistem	49
PENUTUP	51

5.1.	Kesimpulan.....	51
5.2.	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA.....		53
LAMPIRAN A.....		55
LAMPIRAN B.....		57
LAMPIRAN C.....		59
BIODATA PENULIS		63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Percobaan transfer daya nirkabel oleh Massachusetts Institut of Technology.	2
Gambar 2.1. Diagram cara kerja sistem transfer daya nirkabel	8
Gambar 2.2. Skematik sederhana sistem transfer daya nirkabel	8
Gambar 2.3. Rangkaian kompensasi Series-Parallel pada <i>Transmitter</i>	8
Gambar 2.4. Rangkaian kompensasi LCC	8
Gambar 2.5. Cara kerja <i>inverter</i>	11
Gambar 2.6. Skema H-Bridge sebagai <i>Inverter</i>	11
Gambar 2.7. Diagram <i>rectifier</i>	12
Gambar 2.8. <i>Rectifier</i> D2SB60 yang digunakan pada penelitian kali ini	12
Gambar 2.9. Panasonic LC-R064R5P	13
Gambar 2.10. Diagram internal L200C	14
Gambar 2.11. Skematik kontrol pengisian daya menggunakan IC L200C	14
Gambar 2.12. Skematik <i>Buck Converter</i>	15
Gambar 2.13. Skematik mikrokontroler Teensy 3.5	16
Gambar 3.1. Skema Sistem Keseluruhan	17
Gambar 3.2. Diagram Blok Sistem	18
Gambar 3.3 Desain Tampak Atas Mekanik Lengan Antenna	19
Gambar 3.4. Tampak Samping Lengan Antenna	19
Gambar 3.5. Microcontroller Teensy sebagai PWM Generator	21
Gambar 3.6. Rangkaian H-Bridge <i>inverter</i>	22
Gambar 3.7. Rangkaian kompensasi pada <i>transmitter</i> dan <i>receiver</i>	22
Gambar 3.8. Rangkaian kompensasi Series-Parallel pada <i>Transmitter</i>	23
Gambar 3.9. Rangkaian kompensasi LCC	23
Gambar 3.10. Skema kontrol sumber dan kontrol daya	25
Gambar 3.11. Desain rangkaian kontrol sumber	25
Gambar 3.12. Desain rangkaian kontrol pengisian daya	26
Gambar 4.1. Hasil realisasi desain kumparan	27
Gambar 4.2. Realisasi Stasiun Pengisian Baterai Mobile	

Robot Bertenaga Surya.....	28
Gambar 4.3. Realisasi rangkaian pada <i>Transmitter</i>	29
Gambar 4.4. Realisasi rangkaian pada <i>receiver</i>	29
Gambar 4.5. Pengujian Alat pada gap sebesar 20 cm.	30
Gambar 4.6. Langkah-langkah pengujian sistem transfer daya nirkabel	32
Gambar 4.7. Output dari rangkaian <i>inverter</i> pada frekuensi 100 kHz	32
Gambar 4.8. Diagram Alir Penentuan Frekuensi Resonansi	33
Gambar 4.8 Skema Pengujian Output Open Loop.....	34
Gambar 4.9. Skema Pengujian Output Short Circuit	34
Gambar 4.10. Grafik arus pada <i>transmitter</i> terhadap frekuensi pada rangkaian kompensasi S-P	34
Gambar 4.11. Grafik impedansi pada <i>Transmitter</i> terhadap Frekuensi pada rangkaian kompensasi S-P	35
Gambar 4.12. Output Tegangan Open Loop Rangkaian Kompensasi S-P	35
Gambar 4.13. Arus short circuit Rangkaian Kompensasi S-P	36
Gambar 4.14. Efisiensi Transfer Daya Rangkaian Kompensasi S-P	36
Gambar 4.15. Grafik arus pada <i>Transmitter</i> terhadap Frekuensi pada Rangkaian Kompensasi LCC	37
Gambar 4.16. Grafik Impedansi <i>Transmitter</i> terhadap Frekuensi pada Rangkaian Kompensasi LCC	38
Gambar 4.17. Output Tegangan Open Loop Rangkaian Kompensasi LCC	38
Gambar 4.18. Arus Short Circuit Rangkaian Kompensasi LCC	39
Gambar 4.19. Grafik Efisiensi Rangkaian Kompensasi LCC terhadap Frekuensi	39
Gambar 4.20. Transfer daya dengan gap sebesar 40 cm	40
Gambar 4.21. Grafik efisiensi transfer daya dengan jarak yang diubah-ubah	41
Gambar 4.22. Grafik efisiensi transfer daya dengan nilai <i>duty cycle</i> yang diubah-ubah	42
Gambar 4.23. Pengujian arus output dari rangkaian kontrol pengisian daya	43
Gambar 4.24. Tegangan output rangkaian pengisi daya terhadap waktu dengan input <i>power supply</i>	

DC	43
Gambar 4.25. Arus output rangkaian pengisi daya terhadap waktu dengan input <i>power supply</i>	44
Gambar 4.26. Tegangan output rangkaian pengisi daya terhadap waktu dengan input sistem transfer daya nirkabel	44
Gambar 4.27. Arus output rangkaian pengisi daya terhadap waktu dengan input sistem transfer daya nirkabel	45
Gambar 4.28. Daya input yang dibutuhkan kontrol pengisi daya dengan input sistem transfer daya nirkabel	45
Gambar 4.29. Output <i>buck converter</i> terhadap <i>duty cycle</i>	46
Gambar 4.30. Daya yang diterima <i>receiver</i> terhadap <i>duty cycle buck converter</i>	47

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi baterai Panasonic LC-R064R5	12
Tabel 3.1. Daftar Komponen yang Digunakan	21
Tabel 4.1. Spesifikasi elektrik sistem transfer daya nirkabel.	27
Tabel 4.2. Nilai komponen rangkaian kompensasi	31
Tabel 4.3. Perbandingan Rangkaian kompensasi S-P dan LCC	40
Tabel 4.4. Hasil pengujian Efisiensi dengan parameter Jarak	41
Tabel 4.4. Hasil pengujian Efisiensi dengan Parameter <i>duty cycle</i> <i>inverter</i> pada <i>transmitter</i>	42
Tabel 4.5. Hasil pengujian kontrol sumber dengan <i>buck converter</i>	48
Tabel 4.6. Tabel kontrol <i>duty cycle</i> terhadap tegangan baterai	48
Tabel 4.7. Spesifikasi Alat	49

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ide untuk melakukan transfer daya secara nirkabel telah muncul sejak abad ke Sembilan belas dimana Heinrich Hertz dan Nikola Tesla mengajukan teori yang menyatakan bahwa transfer daya secara nirkabel dapat diwujudkan. Penelitian mengenai transfer daya nirkabel terus dilakukan hingga pada tahun 2007 sekelompok mahasiswa MIT melakukan publikasi secara terbuka mengenai hasil pencapaian mereka dalam mentransfer daya secara nirkabel untuk menghidupkan lampu dari jarak 2 meter [1].

Pemanfaatan dari transfer daya nirkabel cukup beragam, mulai dari bidang kedokteran hingga industri. Pada bidang kedokteran atau medis, transfer daya nirkabel digunakan untuk mensuplai daya perangkat-perangkat elektronik implant pada tubuh seorang pasien [1].

Pada bidang industri pemanfaatan transfer daya nirkabel dapat digunakan pada perangkat-perangkat yang diletakkan di tempat yang berbahaya. Dengan tidak adanya kabel maka dapat mengurangi resiko terjadinya short-circuit. Selain itu, industri-industri gadget seperti Samsung dan Apple juga sudah mulai memproduksi wireless charger untuk digunakan pada produk smartphone mereka. Selain itu, industri-industri otomotif juga mulai mengembangkan sistem transfer daya nirkabel untuk mengisi daya mobil listrik produksi mereka [2], [3].

Salah satu permasalahan pada sistem transfer daya nirkabel yang telah diterapkan adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan charging pada suatu perangkat elektronik [4]. Hal ini dikarenakan daya yang ditransfer oleh sistem cenderung konstan tanpa memdulikan kondisi daya yang tersedia pada baterai yang diisi.



Gambar 1.1. Percobaan transfer daya nirkabel oleh Massachusetts Institut of Technology.

Saat ini pada laboratorium elektronika industri Teknik Elektro ITS sedang dikembangkan sebuah mobile robot yang mampu mendeteksi kebocoran gas. Robot tersebut harus mampu berpatroli mengelilingi wilayah-wilayah yang berpotensi mengalami kebocoran gas berbahaya pada industri minyak dan gas. Selain itu, mobile robot tersebut harus dapat beroperasi penuh secara otomatis tanpa adanya operator. Dikarenakan mobile robot tersebut akan diletakkan pada tempat yang berpotensi bahaya yang besar maka tidak dapat ditempatkan operator manusia untuk melakukan charging baterai pada charging station bertenaga matahari yang dilengkapi dengan solar tracker untuk meningkatkan daya yang diterima. Untuk itu, sistem transfer daya nirkabel diperlukan untuk melakukan proses pengisian daya pada baterai robot mobile robot tersebut.

Transfer daya nirkabel menggunakan prinsip mutual inductance antara dua kumparan yang mentransfer energi. Prinsip mutual inductance serupa dengan prinsip kerja transformator yang mentransfer daya dari kumparan primer menuju kumparan sekunder. Namun pada transfer daya nirkabel desain kumparan perlu diperhatikan agar antara kumparan primer (*transmitter*) dengan kumparan sekunder (*receiver*) terjadi resonansi sehingga daya yang ditransfer lebih optimal. Metode transfer daya melalui dua kumparan yang beresonansi ini disebut dengan metode resonant inductive coupling atau magnetic coupling.

Namun transfer daya nirkabel ini sendiri memiliki kelemahan dimana efisiensi daya yang ditransfer masih sangat rendah, yaitu di kisaran angka 40 persen. Hal ini tentunya merupakan sebuah kerugian yang berdampak pada daya yang sampai pada *receiver* WPT jauh lebih kecil dibandingkan daya yang dikirim sehingga pengisian daya baterai

akan memakan waktu yang lebih lama.

Selain permasalahan pada efisiensi, wireless power transfer juga memiliki kekurangan dimana daya yang ditransfer khususnya dengan metode inductive coupling cukup rendah. Padahal untuk dapat digunakan pada charger station mobile robot sistem ini harus dapat mentransfer daya setidaknya dalam kisaran angka 10 Watt dan memiliki kontrol daya untuk mengendalikan daya yang ditransfer untuk mempercepat pengisian daya dan memperpanjang usia baterai yang digunakan.

Untuk meningkatkan efisiensi dari wireless power transfer kita dapat meninjau kembali metode transfer daya nirkabel yang digunakan. Salah satu metode yang umum digunakan pada sistem transfer daya nirkabel adalah metode resonant inductive coupling. Metode ini banyak digunakan karena memerlukan rangkaian yang relatif sederhana dan tuning frekuensinya lebih mudah namun tetap memiliki efisiensi yang relatif tinggi [5], [6].

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini dapat dirumuskan dalam poin-poin berikut:

1. Bagaimana cara mentransfer daya dari *transmitter* menuju *receiver*?
2. Bagaimana cara untuk mengontrol pengisian daya agar tidak merusak baterai?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut:

1. Menerapkan metode *resonant inductive coupling* untuk mentransfer daya.
2. Implementasi sistem kontrol CC-CV pada *charger* mobile robot untuk menjaga keawetan baterai.

1.4. Batasan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan maka hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem ini hanya diaplikasikan di dalam ruangan tanpa ada interferensi dan gangguan dari sinyal-sinyal berfrekuensi tinggi.
2. *Photovoltaic* dalam sistem digunakan secara langsung, tanpa ada pengembangan untuk meningkatkan efisiensi.
3. Tidak ikut serta dalam pembuatan mobile robot dan sistem panel surya.

4. Baterai diisi dayanya pada kondisi

1.5. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dikerjakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literature Sistem Transfer Daya Nirkabel dan Pengisian Daya Baterai

Studi literatur berisi serangkaian kegiatan pencarian dan pengkajian sumber-sumber yang relevan dan terpercaya yang menjadi acuan dalam penulisan tugas akhir ini. Literatur yang peneliti pakai dititik-beratkan pada metode transfer daya nirkabel dan kontrol untuk pengisian baterai.

2. Perancangan Sistem Transfer Daya Nirkabel

Perencanaan yang di maksud bertujuan untuk mendapatkan desain dan mekanisme yang optimal dari sistem transfer daya nirkabel. Parameter-parameter yang akan diuji antara lain jenis rangkaian kompensasi, jarak *transmitter* dengan *receiver*, *duty cycle* dari *inverter*, dan keberadaan *electromagnetic interference shielding*.

3. Perancangan Sistem Pengisian Daya Baterai

Pada sistem pengisian daya terdapat kontrol pengisian daya yang menggunakan metode *constant current-constant voltage* (CC-CV) [7]. Metode CC-CV memiliki kompleksitas yang lebih rumit dibandingkan metode CC atau CV saja namun metode CC-CV memiliki kelebihan dimana waktu pengisian daya akan lebih cepat dan keawetan baterai akan terjaga.

4. Pengujian Sistem Transfer Daya Nirkabel

Pengujian sistem transfer daya nirkabel dilakukan untuk mengetahui parameter mana yang terbaik untuk sistem. Parameter yang terbaik ditentukan dari efisiensi terbesar yang didapat.

5. Pengujian Sistem Pengisian daya Baterai

EMI shielding memiliki fungsi untuk memfokuskan radiasi elektromagnetik dan memperbesar koefisien kopling antar kumparan. Perancangan EMI shielding dilakukan meningkatkan efisiensi dari sistem transfer daya nirkabel.

6. Tahap Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa kinerja masing-masing komponen dari hasil perealisasi sistem dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Pada tahap ini sistem akan diuji dengan menggunakan baterai yang kosong, baterai tersebut akan diisi dengan menggunakan sistem yang telah dirancang dan diamati efisiensi transfer

daya dan waktu pengisian.

7. Evaluasi

Tahap evaluasi dan penyempurnaan kinerja sistem dilakukan setelah pengujian dilakukan sebelumnya. Pada tahap ini akan dinilai sistem kerja dari alat, baik dari efisiensi, kestabilan dan daya tahan alat, dan besar daya yang dapat ditransfer.

8. Penyusunan Laporan Akhir

Penyusunan laporan dilakukan setelah semua tahap terselesaikan sehingga hasil yang diperoleh dari pembuatan alat dapat dijelaskan secara rinci sesuai dengan data yang diperoleh

9. Penulisan Makalah Jurnal POMITS

Penulisan jurnal dilakukan sebagai sarana publikasi penelitian. Hal ini juga dilakukan agar penelitian mendapatkan legalitas dan pengakuan resmi dari dunia pendidikan.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam buku tugas akhir ini, pembahasan mengenai sistem yang dibuat terbagi menjadi Lima Bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- Bab I : Pendahuluan
Bab ini meliputi penjelasan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.
- Bab II : Tinjauan Pustaka
Bab ini menjelaskan tentang teori penunjang yang terkait maupun yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Dasar teori yang menunjang meliputi sistem transfer daya nirkabel, *inverter*, *rectifier*, lead acid battery, kontrol pengisian daya, teensy, DC-DC *converter*, radiasi elektromagnetik, radiasi elektromagnetik, panel surya, dan mobile robot.
- Bab III : Perancangan Sistem
Bab ini menjelaskan tentang perencanaan sistem yang meliputi perancangan mekanik dan elektronik pada sub-sistem *transmitter*, *receiver*, dan pengisian daya.
- Bab IV : Pengujian dan Analisis
Bab ini menjelaskan tentang hasil uji coba alat beserta analisisnya.
- Bab V : Penutup
Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembuatan

alat serta saran untuk pengembangan lebih lanjut.

1.7. Relevansi

Sistem transfer daya nirkabel merupakan salah satu inovasi yang banyak dikembangkan di bidang transportasi, medis, maupun dalam kegiatan sehari-hari contohnya mobil listrik dan *charger smartphone*. Kedepannya, tidak tertutup kemungkinan akan penerapan sistem transfer daya nirkabel pada dunia industri. Penelitian mengenai sistem transfer daya nirkabel ini merupakan salah satu langkah untuk mempelajari dasar dan cara kerja dari sistem tersebut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Transfer Daya Nirkabel

Wireless power transfer atau transfer daya nirkabel menggunakan medan elektromagnetik untuk mentransfer energi antara dua benda. Hal ini biasanya dilakukan dengan menggunakan metode induktif. Energi dikirim melalui kumparan ke perangkat listrik, yang kemudian dapat menggunakan energi itu untuk mengisi baterai atau menjalankan perangkat [7].

Tahap-tahap transfer daya secara nirkabel dari secara umum dapat ditinjau pada diagram pada gambar 2.1. Pada sub-sistem *transmitter* terdapat sumber daya dari sistem dapat berupa listrik dari jala-jala listrik maupun dari sumber DC. Listrik dari sumber tersebut kemudian diolah RF *amplifier* agar beresilasi pada frekuensi radio. Kemudian sinyal akan dikirimkan melalui resonator sumber menuju resonator perangkat. Pada diagram gambar 1 garis putus-putus menunjukkan bahwa antara sub-sistem *transmitter* dan *receiver* tidak terhubung secara fisik menggunakan kabel.

Impedance matching network (IMN) atau rangkaian kompensasi pada sub-sistem *transmitter* dan *receiver* memiliki fungsi mengurangi rugi-rugi daya yang diakibatkan *mismatch* impedansi antara resonator sumber dengan resonator perangkat [2]. *Mismatch* impedansi dapat terjadi jika beban pada resonator berubah atau terjadi perpindahan posisi pada kumparan.

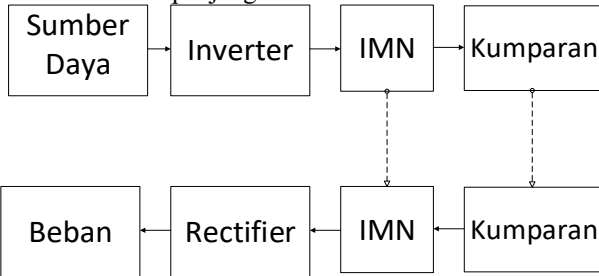
Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi yang tinggi adalah dengan meningkatkan Q factor dari antenna yaitu kumparan *transmitter* dan *receiver*. Nilai Q dapat dirumuskan sebagai berikut [8]:

$$Q = \frac{L}{R} \quad (2.1.)$$

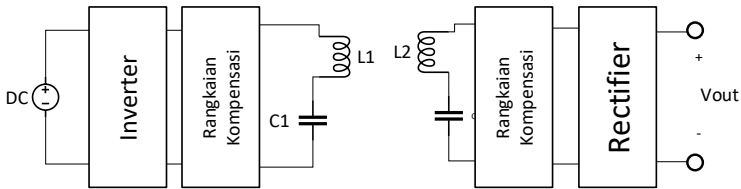
Dikarenakan nilai Q berbanding terbalik dengan R yang merupakan resistansi parasitik pada kumparan. Meningkatkan Q sama artinya dengan mengurangi R sehingga rugi-rugi daya akibat perubahan energy listrik menjadi panas dapat dikurangi. Selain itu nilai Q juga dapat ditingkatkan dengan cara memperbesar induktansi kumparan. Untuk mendapatkan nilai dari induktor yang dibuat secara manual sebagai L2 dapat digunakan rumus sebagai berikut [9]:

$$L = \mu_0 \frac{N^2 \cdot A}{l} \quad (2.2)$$

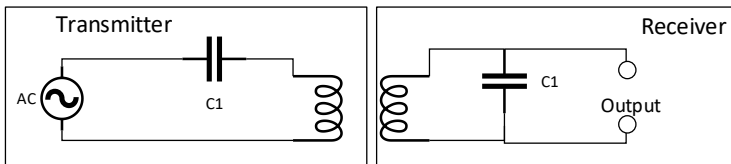
Dimana : μ_0 = permeabilitas inti
 N = jumlah lilitan
 A = luas penampang
 l = panjang kawat



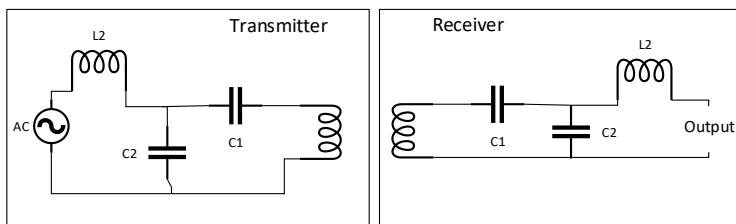
Gambar 2.1. Diagram cara kerja sistem transfer daya nirkabel



Gambar 2.2. Skematik sederhana sistem transfer daya nirkabel



Gambar 2.3. Rangkaian kompensasi Series-Parallel pada *Transmitter*



Gambar 2.4. Rangkaian kompensasi LCC

2.1.1. Rangkaian Kompensasi

Pada sistem transfer daya nikabel induktansi bocor antara kumparan primer dan kumparan sekundernya sangatlah besar. Hal ini menyebabkan efisiensi transfer daya antara kedua kumparan turun secara drastic. Untuk menghilangkan induktansi bocor digunakan metode *inductive resonant coupling* yang menjadikan kumparan primer dan sekunder beresonansi pada frekuensi yang sama dengan menambahkan rangkaian kompensasi.

Pada umumnya rangkaian kompensasi dapat dibuat hanya dengan satu komponen kapasitor saja namun untuk membentuk rangkaian kompensasi S-S, S-P, P-S, dan P-P. Namun, untuk meningkatkan efisiensi Rangkaian kompensasi yang lebih baik seperti LCL dicetuskan [10]. Namun rangkaian kompensasi LCL memiliki kelemahan dimana induktor yang digunakan menjadi lebih banyak. Untuk mengurangi banyaknya induktor maka dapat digunakan rangkaian kompensasi LCC yang menggunakan kapasitor sebagai induktor namun tetap memiliki kemampuan yang sama baiknya dengan rangkaian kompensasi LCL [11].

Pada rangkaian kompensasi S-P seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. nilai kapasitor yang diperlukan dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_L &= X_C \\ \omega L &= \frac{1}{\omega C} \\ \omega &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{aligned} \quad (2.3.)$$

Dimana nilai $\omega = 2\pi f$, sehingga:

$$\begin{aligned} f_r &= \frac{\omega}{2\pi} \\ f_r &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \\ C &= \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 L} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Sedangkan pada rangkaian kompensasi LCC pada gambar 2.4 nilai masing-masing rangkaian dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_{L2} &= X_{C2} \\ \omega L &= \frac{1}{\omega C} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Dimana nilai $\omega = 2\pi f$, sehingga:

$$f_r = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$$

Sedangkan nilai kapaitansi C1 pada *transmitter* dan *receiver* adalah

$$C1 = \frac{1}{4\pi^2(L_{kumparan} - L_2)} \quad (2.6)$$

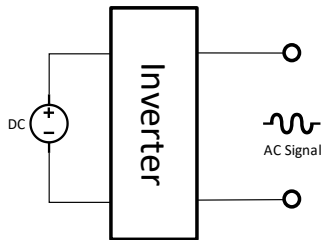
2.2. *Inverter*

Inverter adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengubah sumber listrik AC menjadi DC. *Inverter* banyak digunakan pada kontrol kecepatan motor dimana *inverter* yang digunakan adalah *inverter* jenis H-Bridge yang terdiri dari 4 MOSFET. Dalam penelitian ini, *inverter* digunakan untuk mengubah sumber listrik DC menjadi listrik AC dengan frekuensi antara 30 kHz hingga 300 kHz. Cara kerja *inverter* secara umum dapat dilihat pada diagram gambar 2.5 dan 2.6.

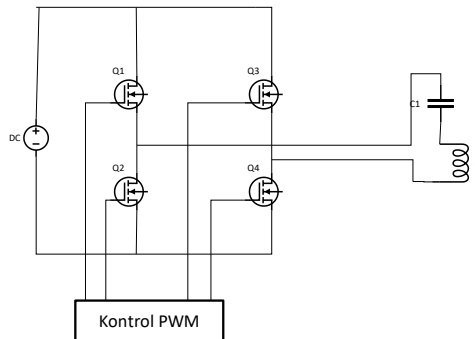
2.2.1. H-Bridge *Inverter*

H-bridge *inverter* menggunakan 4 buah switch untuk mengubah sumber listrik DC menjadi AC. Pada gambar 2.6 terdapat 4 buah MOSFET yang berfungsi sebagai switch dan menyala secara bergantian. *Pulse width modulation* atau PWM berfungsi mengatur kapan tiap MOSFET harus mati atau dalam kondisi *cut-off* dan kapan harus dalam kondisi *on*.

Pada saat MOSFET Q1 dan Q4 berada dalam kondisi *on* maka induktor dan kapasitor yang bertindak sebagai beban akan terbias arus yang melalui kapasitor kemudian menuju induktor. Pada saat MOSFET Q2 dan Q3 yang berada dalam kondisi *on* maka arus akan terbias melalui induktor terlebih dahulu sebelum menuju kapasitor. Perubahan arah arus ini menyebabkan beban melewati arus dengan polaritas yang berubah-ubah layaknya arus AC.



Gambar 2.5. Cara kerja *inverter*



Gambar 2.6. Skema H-Bridge sebagai *Inverter*

2.3. *Rectifier*

Rectifier merupakan peralatan elektronika yang berfungsi mengubah sumber listrik AC menjadi DC. *Rectifier* umumnya dibagi menjadi *full-wave rectifier* dan *half-wave rectifier*. *Full-wave rectifier* dapat menyearahkan sinyal AC baik pada polaritas positif maupun negatif. Sebaliknya pada *half-wave rectifier* gelombang pada polaritas negatif akan diblokir. cara kerja dari *rectifier* dapat ditinjau pada gambar 2.7.

Pada penelitian kali ini *full wave rectifier* yang digunakan adalah D2SB60 yang merupakan sebuah *rectifier* dalam IC monolitik. Tegangan input maksimum dari IC ini yaitu sebesar 600 Volt dan arus input maksimumnya sebesar 2 A. Penampakan dari D2SB60 dapat ditinjau pada gambar 2.8.

2.4. *Lead Acid Battery*

Lead acid battery merupakan jenis baterai yang digunakan pada aki mobil. *Lead acid battery* banyak digunakan pada kendaraan-kendaraan listrik atau sistem dengan konsumsi daya tinggi dikarenakan

harganya yang murah dan faktor keamanan.

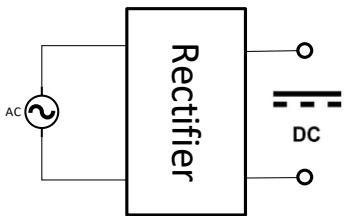
Baterai lead-acid menyimpan energi berupa ion-ion yang tersimpan di dalam baterai.

2.5.1. Panasonic LC-R064R5P

Panasonic LC-R064R5P adalah baterai *lead-acid* dengan tegangan rating 6 V dan kapasitas arus 4,5 Ah. Baterai ini dipilih dikarenakan kapasitasnya yang tidak terlalu besar sehingga cocok digunakan untuk *prototype* dan pengujian alat. Selain itu baterai harus cukup ringan agar tidak mengganggu mobilitas *mobile robot*.

Tabel 2.1. Spesifikasi baterai Panasonic LC-R064R5

Spesifikasi	Nilai
Tegangan Nominal	6 V
Kapasitas	4,5 Ah
Tegangan Charging	7,35 V
Arus Charging	<400 mA



Gambar 2.7. Diagram *rectifier*



Gambar 2.8. *Rectifier* D2SB60 yang digunakan pada penelitian kali ini



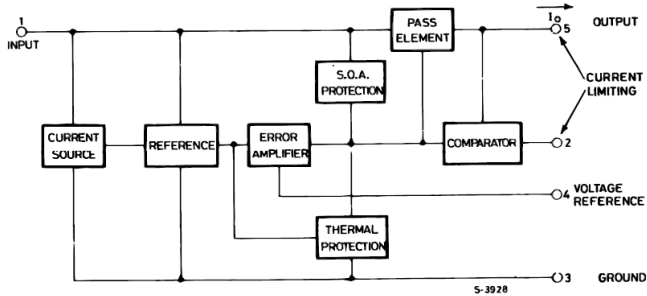
Gambar 2.9. Panasonic LC-R064R5P

2.5. Kontrol Pengisian Daya

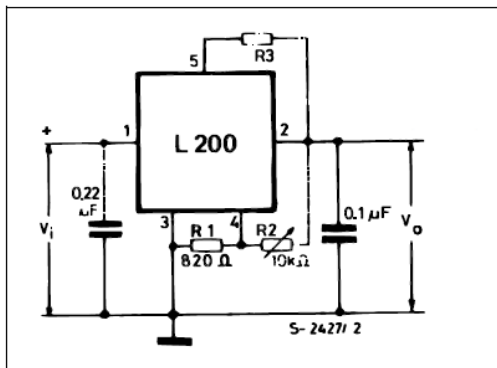
Dalam pengisian daya baterai terdapat beberapa jenis kontrol yang biasa digunakan antara lain constant current (CC), constant voltage(CV), constant current-constant voltage(CC-CV). Setiap metode memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Pada pengisian daya CV kontrol yang digunakan lebih mudah dan lebih aman dari metode lain namun pengisiannya lebih lambat dari CC dan CC-CV. Pada metode CC waktu pengisian lebih cepat namun dapat terjadi *overcharging* jika dibiarkan terlalu lama. Metode CC-CV merupakan gabungan dari dua metode sebelumnya dimana pada saat baterai pada kondisi kosong maka diterapkan CC agar pengisian lebih cepat sedangkan pada saat baterai hampir penuh metode berganti menjadi CV pada saat mencapai tegangan *floating* untuk menghindari *overcharge*. Tegangan *floating* adalah tegangan puncak yang harus dipertahankan pada saat baterai sedang tidak tersambung pada beban [12], [13].

2.6.1. L200C Voltage and Current Regulator

L200C adalah regulator tegangan dan arus yang dapat digunakan untuk mengisi daya baterai. Pada L200C terdapat rangkaian internal seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Pada L200C terdapat fitur yang dapat mempertahankan baterai pada tegangan *floating*.



Gambar 2.10. Diagram internal L200C



Gambar 2.11. Skematik kontrol pengisian daya menggunakan IC L200C

Untuk menentukan nilai-nilai komponen yang diperlukan terdapat rumus yang telah tersedia pada datasheet L200C yaitu:

$$V_i = V_{out \text{ maksimum}} + 2$$

$$R_2 = \left(\frac{V_{out \text{ maksimum}}}{2,77} - 1 \right) \times R_1$$

$$R_3 = \frac{0,45}{I_{maksimum}}$$

2.6. Teensy 3.5 ARM Based Microcontroller

Teensy 3.5. adalah mikrokontroler berbasis ARM yang memiliki

kecepatan clock sebesar 120 MHz. Teensy dikembangkan oleh Paul Stoffregen dan dilengkapi dengan bootloader yang membuat Teensy bisa langsung diprogram menggunakan koneksi USB sehingga mempermudah pengguna. Teensy dapat diprogram menggunakan Arduino IDE maupun bahasa C [14].

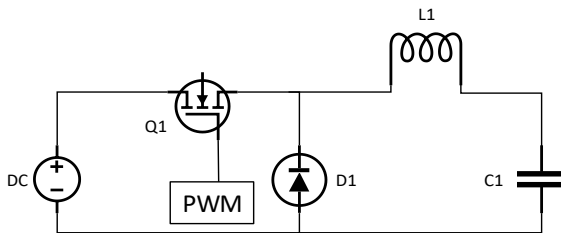
Mikroprosesor pada Teensy menggunakan IC yang diproduksi oleh NXP. Selayaknya Arduino Teensy memiliki beberapa pin digital dan ADC yang dapat digunakan untuk membangkitkan PWM. Skematik dari Teensy 3.5 yang digunakan pada penelitian ini dapat ditinjau pada gambar

2.7. DC-DC Converter

Penggunaan *converter* DC-DC sebagai regulator tegangan memiliki kelebihan dimana DC-DC *converter* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan regulator tegangan monolithic seperti IC LM78 Series. Hal ini dikarenakan pada DC-DC *converter* pengaturan tegangan menggunakan prinsip charge dan discharge pada kapasitor dan inductor, hal ini berbeda dengan kebanyakan regulator tegangan yang merubah kelebihan tegangan menjadi panas.

2.7.1. Buck Converter

Buck converter merupakan *converter* DC-DC yang berfungsi menurunkan tegangan input sehingga tegangan output menjadi lebih kecil. Skematik *buck converter* pada umumnya dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Skematik *Buck Converter*

BAB III

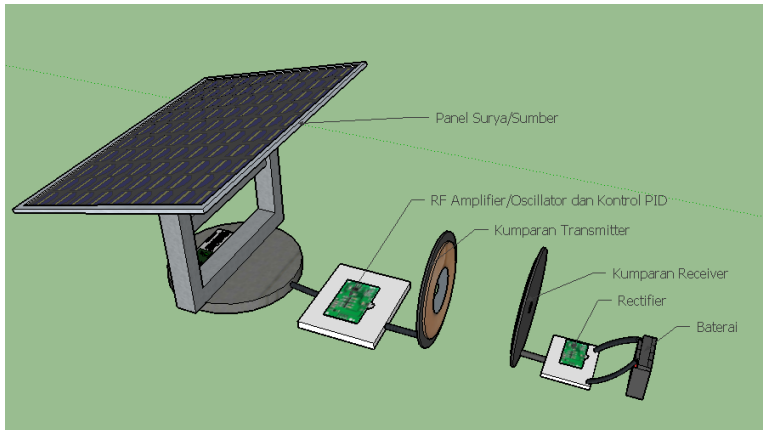
PERANCANGAN SISTEM

Sistem transfer daya nirkabel merupakan salah satu bagian dari sebuah sistem monitoring kebocoran gas yang melibatkan *mobile robot* pendeteksi kebocoran gas dan *ground station* sebagai tempat pengisian daya. Pada *ground station* terdapat sistem *tracking* sinar matahari untuk mengoptimalkan panel surya dan sistem transfer daya nirkabel untuk pengisian daya *mobile robot* itu sendiri. Pada penelitian ini, sistem transfer daya nirkabel merupakan sistem utama yang akan diuji.

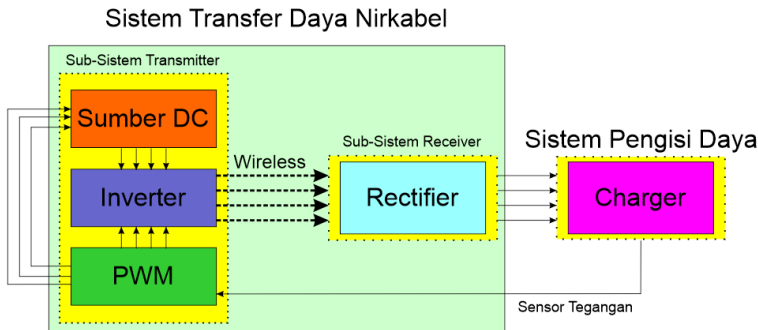
Secara umum sistem terbagi menjadi tiga sub-sistem utama yaitu sub-sistem *transmitter*, sub-sistem *receiver*, dan sub-sistem pengisian daya. Ketiga sub-sistem ini akan bekerja bersama untuk mentransfer daya secara nirkabel untuk mengisi baterai.

Cara kerja dari keseluruhan sistem secara umum adalah sub-sistem *transmitter* akan membangkitkan gelombang elektromagnetik pada spectrum VLF yang kemudian akan ditangkap oleh *receiver* dan diubah kembali menjadi energi listrik. Energi listrik yang sampai pada *receiver* kemudian akan digunakan untuk mengisi baterai pada *mobile robot*.

Keseluruhan blok diagram ditunjukkan oleh gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.1. Skema Sistem Keseluruhan.



Gambar 3.2. Diagram Blok Sistem.

Daya berasal dari power suplai DC dengan tegangan keluaran sebesar 48 V dan arus maksimum 10 Ampere.

(1) PWM

PWM dibangkitkan oleh mikrokontroler untuk mengatur switching dari MOSFET pada *inverter*.

(2) *Inverter*

Inverter berfungsi untuk mengubah sumber listrik dari DC menjadi AC dengan frekuensi antara 1kHz-300kHz. Daya berupa listrik AC ini akan ditransfer secara nirkabel menuju sub-sistem *receiver*

(3) *Rectifier*

Pada sub-sistem *receiver*, daya berupa listrik AC yang ditangkap dari *transmitter* akan diubah kembali menjadi listrik DC dan digunakan untuk mengisi daya baterai.

(4) Charger

Charger berfungsi sebagai pengisi daya bagi *lead-acid battery*.

3.1. Perancangan Mekanik

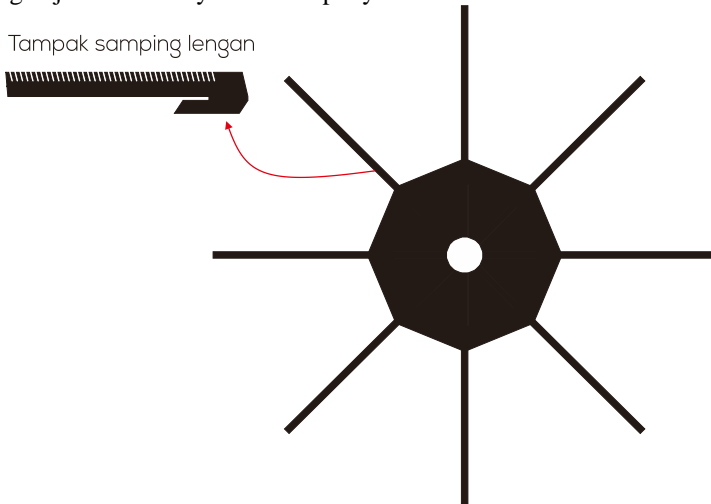
Mekanik utama yang dibuat pada penelitian ini merupakan rangka antenna yang berupa kumparan. Rangka antenna didesain menggunakan software desain secara 2 dan diwujudkan dengan bahan akrilik yang dipotong menggunakan mesin CNC berdasarkan desain tersebut.

Pertimbangan desain kumparan didasarkan pada persamaan 2.1 dan 2.2 dimana pada persamaan tersebut disebutkan bahwa untuk

mendapatkan kumparan dengan nilai Q yang tinggi maka induktansi harus lebih besar. Untuk meningkatkan nilai induktansi dapat dilakukan berbagai cara menurut persamaan 2.2 yaitu:

1. Memberi inti dengan permeabilitas tinggi pada induktor
2. Menambah jumlah lilitan
3. Memperbesar luas penampang
4. Memperpendek panjang konduktor yang digunakan sebagai lilitan

Dikarenakan penambahan inti tidak memungkinkan akibat ketidaktersediaan bahan maka untuk memperbesar induktansi dilakukan dengan menambah jumlah lilitan dan memperbesar luas penampang. Dikarenakan penambahan jumlah lilitan meningkatkan nilai induktansi secara eksponensial maka penambahan jumlah lilitan dijadikan sebagai prioritas utama. Pada *paper* sebelumnya jumlah lilitan yang digunakan rata-rata sebanyak 20 kali [11], maka pada paper kali ini digunakan lilitan dengan jumlah sebanyak 2 kali lipat yaitu 41 lilitan.



Gambar 3.3 Desain Tampak Atas Mekanik Lengan Antenna



Gambar 3.4. Tampak Samping Lengan Antenna

Dengan menggunakan rumus induktansi yang didapat pada persamaan 2.2 nilai induktansi dari kumpulan diperkirakan akan bernilai sebagai berikut :

$$L = \mu_0 \frac{N^2 \cdot A}{l}$$

$$L = 1,26 \times 10^{-6} \frac{41^2 \times 3,14 \times 0,45^2}{6}$$

$$L = 224 \text{ uH}$$

3.2. Perancangan Elektronik Sistem Transfer Daya Nirkabel

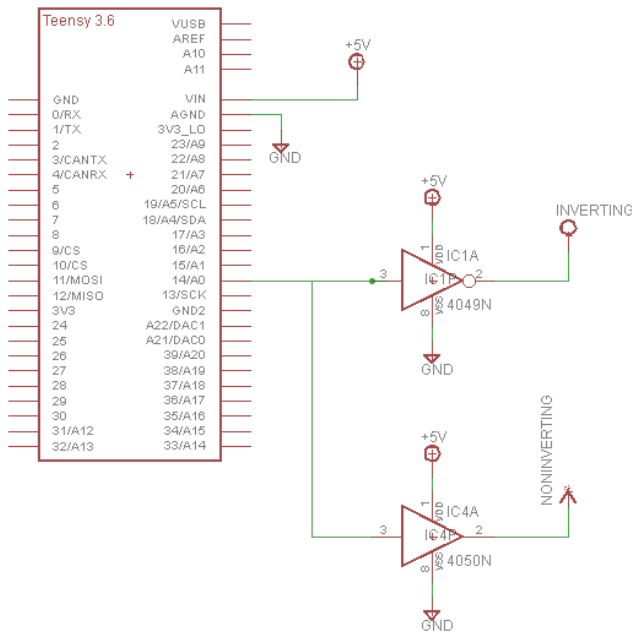
Pada perancangan rangkaian elektronik 3 komponen utama berupa Teensy sebagai PWM generator, IR210 MOSFET driver, dan full H-Bridge *inverter*.

3.3.1. PWM Signal Generator dan Inverter

PWM signal generator digunakan untuk mengontrol H-Bridge *inverter*. Pada perancangan rangkaian elektronik 3 komponen utama berupa Teensy sebagai PWM generator, IR210 MOSFET driver, dan full H-Bridge *inverter*.

Pada gambar 3.5. dapat dilihat bahwa output PWM pada pin 14 Teensy digunakan sebagai input pada IC 4050 non-inverting buffer dan IC 4049 inverting buffer. Output PWM dari teensy perlu dikuatkan melalui buffer dikarenakan nilai logika HIGH dari teensy hanya sebesar 3,3 Volt sedangkan IC IR2110 memerlukan nilai tegangan 5 Volt agar dapat bekerja secara optimal.

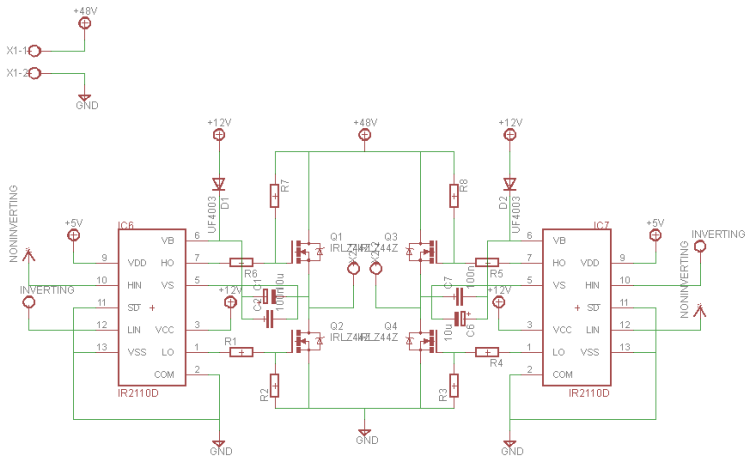
Sinyal inverting dan non-inverting yang dihasilkan kemudian akan dijadikan masukan IC IR2110 untuk menjalankan H-Bridge *Inverter*. H-Bridge *inverter* akan membangkitkan listrik AC dengan frekuensi 30-150 kHz sesuai dengan yang dibutuhkan.



Gambar 3.5. Microcontroller Teensy sebagai PWM Generator

Tabel 3.1. Daftar Komponen yang Digunakan

Nama Komponen	Tipe
IC H-Bridge Driver	IR2110
IC non-Inverting Buffer	74LS4050
IC Inverting Buffer	74LS4049
Dioda	Schottky UF4003
IC Full Wave <i>Rectifier</i>	D2SB60
MOSFET	IRFZ44N

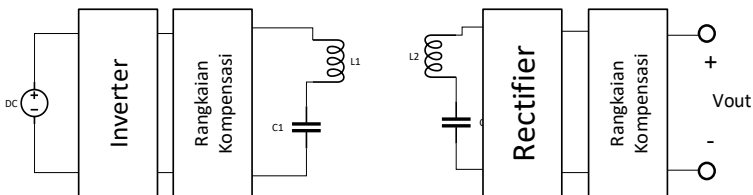


Gambar 3.6. Rangkaian H-Bridge *inverter*

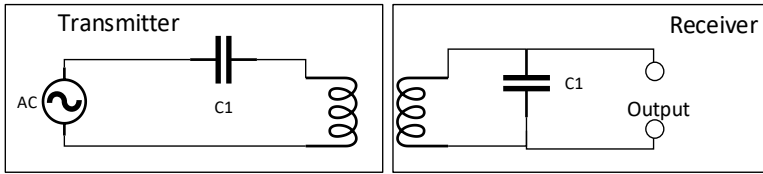
3.3.2. Rangkaian Kompensasi

b. Rangkaian kompensasi S-P

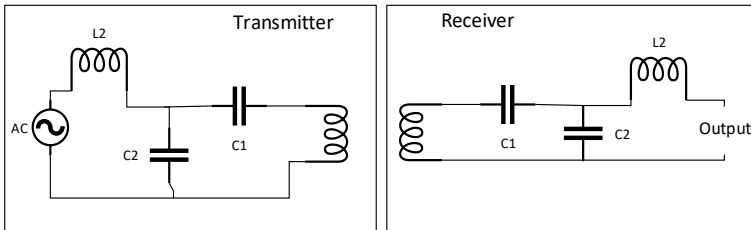
Rangkaian kompensasi Series-Parallel menggunakan satu rangkaian ekuivalen kapasitor secara seri dengan kumparan pada *transmitter* dan satu rangkaian ekuivalen kapasitor secara parallel dengan kumparan pada *receiver*. Rangkaian ekuivalen dapat ditinjau pada gambar 3.7. Nilai kapasitansi ekuivalen C1 dapat dituliskan sesuai rumus pada persamaan 3.1.



Gambar 3.7. Rangkaian kompensasi pada *transmitter* dan *receiver*



Gambar 3.8. Rangkaian kompensasi Series-Parallel pada *Transmitter*



Gambar 3.9. Rangkaian kompensasi LCC

c. Rangkaian kompensasi LCC

Rangkaian kompensasi LCC memiliki skematik seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9. Untuk mendapatkan nilai f_r dan C_2 pada *transmitter* bisa menggunakan persamaan frekuensi seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.5 dan 2.6.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{47 \times 10^{-6} \times 53,9 \times 10^{-9}}}$$

$$f_r = 100 \text{ kHz}$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2(L_{\text{kumparan}} - L_2)}$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2(323 \times 10^{-6} - 47 \times 10^{-6})}$$

$$C_1 = 9,19 \text{ nF}$$

Untuk mendapatkan nilai C_1 pada *receiver* dapat digunakan rumus serupa. Dimana setelah perhitungan didapatkan nilai C_1 sebesar 9,6 nF.

3.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak digunakan untuk memprogram mikrokontroler yaitu teensy 3.5. Teensy di sini bertugas untuk membangkitkan sinyal PWM untuk menjalankan H-Bridge *Inverter*. Frekuensi PWM teensy secara otomatis bernilai 1 kHz. Untuk mengubah nilai frekuensinya maka diperlukan program sebagai berikut :

```
pinMode(PWMPin, OUTPUT);
pinMode(PWMPin2, OUTPUT);
analogWriteFrequency(2, n); //Set frekuensi PWM ke nilai n kHz -->
    Pin yang ikut berubah frekuensinya 2, 7, 8, 35, 36, 37, 38
analogWriteResolution(7); //Nilai 0-127
```

3.4. Perancangan Kontrol Sumber dan Pengisian Daya

Pada penelitian ini terdapat dua kontrol yang digunakan untuk mengisi daya baterai. Kontrol yang pertama adalah kontrol sumber yang bertujuan untuk mengontrol daya yang dikirimkan oleh *transmitter* menuju *receiver*. Kontrol yang kedua berada pada *receiver* dan digunakan untuk mengontrol daya yang diberikan pada baterai dimana komponen kontrol utamanya berupa IC regulator tegangan dan arus L200C.

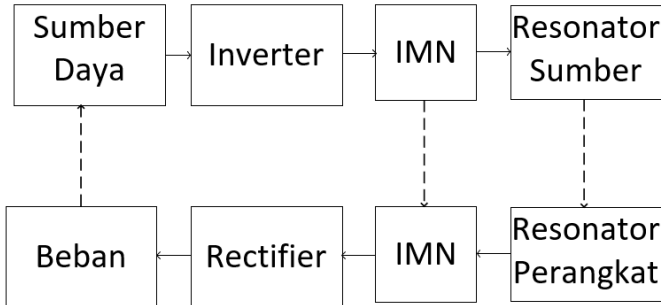
Pada *transmitter* terdapat kontrol sumber yang menggunakan *buck converter*. *Buck converter* yang digunakan menggunakan IC LM2596. Untuk mengatur keluaran dari LM2596 digunakan PWM dari Teensy yang telah dilewatkan *low pass filter* pasif dengan frekuensi *cut-off* 100 Hz.

Berdasarkan skematik rangkaian pada gambar 2.10 dan parameter-parameter yang diperlukan, nilai dari tegangan input dan resistor yang diperlukan untuk merealisasikan rangkaian pengisi daya baterai Panasonic LC-R064R5P adalah sebagai berikut:

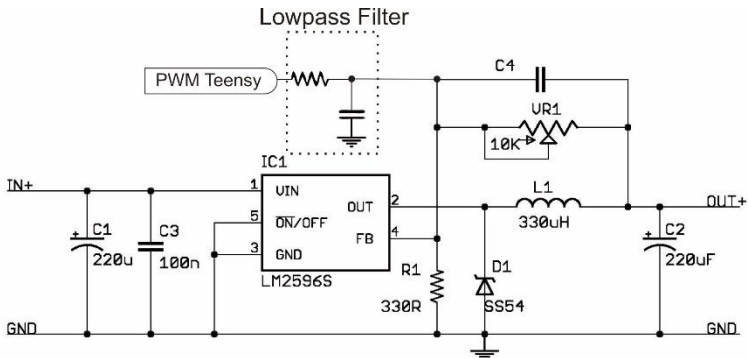
$$\begin{aligned} V_i &= V_{out} \text{ maksimum} + 2 \\ R_2 &= \left(\frac{V_{out \text{ maksimum}}}{2,77} - 1 \right) \times R_1 \\ &= \left(\frac{7,18}{2,77} - 1 \right) \times 820 \\ &= 1305 \text{ Ohm} \\ R_3 &= \frac{0,45}{I_{maksimum}} \end{aligned}$$

$$= \frac{0,45}{0,7} = 0,62 \text{ Ohm}; \text{ atau disetarakan menjadi } 1 \text{ ohm}$$

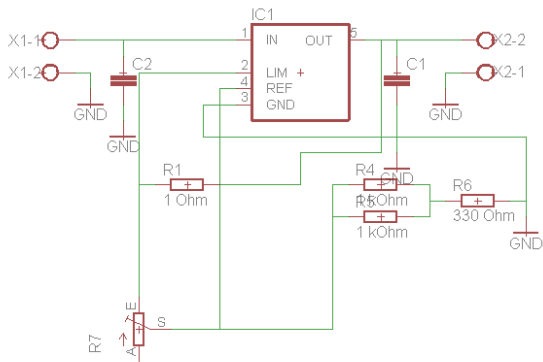
Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka dapat dibuat rangkaian pengisi daya yang ditunjukkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.10. Skema kontrol sumber dan kontrol daya



Gambar 3.11. Desain rangkaian kontrol sumber



Gambar 3.12. Desain rangkaian kontrol pengisian daya

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

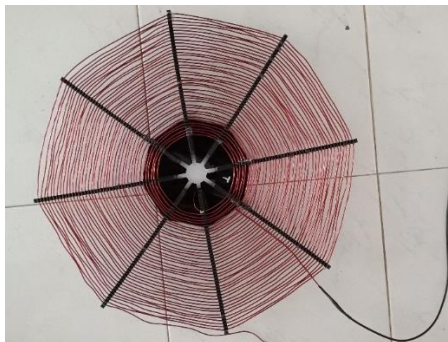
Bab ini membahas tentang pengujian dari sistem yang telah dirancang beserta analisis data yang diperoleh saat pengujian. Pengujian-pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sub-sistem *transmitter*, pengujian sub-sistem *receiver*, dan pengujian kontrol pengisian daya.

Berdasarkan desain pada bab tiga dilakukan perealisasi desain kumparan dengan jumlah lilitan sebanyak 40 dan diameter sebesar 42 cm seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Kumparan yang telah dibuat berdasarkan perancangan sistem pada bab 2 diukur untuk diketahui spesifikasinya. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, beberapa spesifikasi hardware yang telah dirancang pada tugas akhir ini disajikan pada tabel 4.1 berikut:

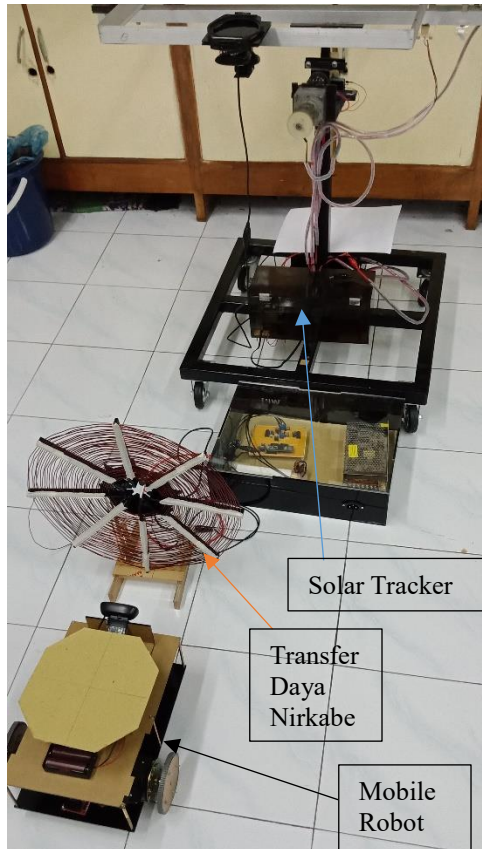
Pada hasil perhitungan nilai induktansi yang didapat untuk kumparan *transmitter* dan *receiver* adalah sebesar 224 uH sedangkan hasil pengukuran dengan LCR meter menunjukkan bahwa induktansi bernilai 323 uH untuk kumparan *transmitter* dan 311,7 uH untuk rangkaian kumparan *receiver*.

Tabel 4.1. Spesifikasi elektrik sistem transfer daya nirkabel.

Diameter Kumparan Primer dan Sekunder	40 cm
Induktansi Kumparan Primer	323 uH
Induktansi Kumparan Sekunder	311,7 uH

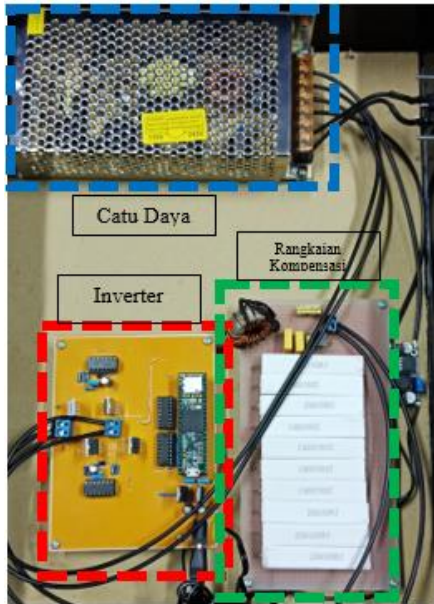


Gambar 4.1. Hasil realisasi desain kumparan



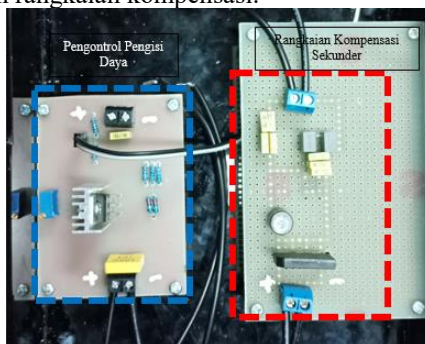
Gambar 4.2. Realisasi Stasiun Pengisian Baterai Mobile Robot Bertenaga Surya

Pada gambar 4.2 dapat ditinjau hasil sistem secara keseluruhan yang terdiri dari mobile robot pendeteksi gas beracun dengan kemampuan untuk melakukan docking secara otomatis menggunakan kamera. Stasiun pengisian daya baterai terdiri dari sistem transfer daya nirkabel dan panel surya dengan solar tracker sebagai sumber daya.



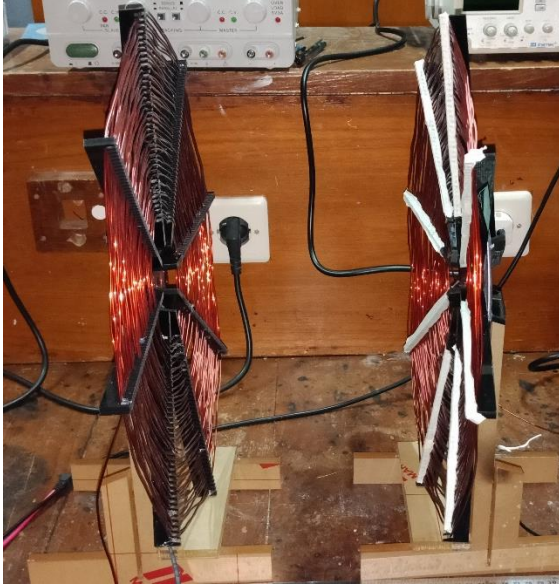
Gambar 4.3. Realisasi rangkaian pada *Transmitter*

Pada sub-sistem *transmitter* terdapat rangkaian H-bridge *inverter*, rangkaian kompensasi, dan catu daya. Hasil realisasi dari sub-sistem *transmitter* dapat ditinjau pada gambar 4.3 dimana komponen pada kotak biru berupa catu daya, pada kotak merah berupa *inverter*, dan pada kotak hijau merupakan rangkaian kompensasi.



Gambar 4.4. Realisasi rangkaian pada *receiver*

Pengujian sistem transfer daya nirkabel dilakukan di laboratorium elektronika industri B402 Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.



Gambar 4.5. Pengujian Alat pada gap sebesar 20 cm.

Pengujian dibagi menjadi yaitu:

1. Pengujian sistem transfer daya nirkabel dibagi menjadi tiga yaitu pengujian pada sub-sistem *transmitter* dan sub-sistem *receiver*. Flowchart dari langkah-langkah pengujian dapat ditinjau pada gambar 4.6:
 - a. Pengujian sub-sistem *transmitter*: pada sub-sistem *transmitter* variabel bebasnya berupa tipe rangkaian kompensasi, nilai frekuensi, dan jenis kumparan sedangkan variabel terikatnya berupa arus pada *transmitter*.
 - b. Pengujian sub-sistem *receiver*: pada sub-sistem *receiver* variabel bebasnya berupa jarak, jenis kumparan, dan tipe rangkaian kompensasi sedangkan variabel terikatnya berupa tegangan open-loop, arus short circuit, daya yang diterima pada *receiver*, serta efisiensi.
2. Pengujian sistem pengisian daya: pada pengujian sistem pengisian daya akan dibandingkan dua metode pengisian daya

yaitu a) tanpa kontrol dan b) dengan kontrol CC-CV, variabel terikat berupa grafik tegangan dan arus terhadap waktu dan suhu dari baterai selama pengisian daya

4.1. Pengujian Sistem Transfer Daya Nirkabel

4.1.1. Pengujian Rangkaian Kompensasi

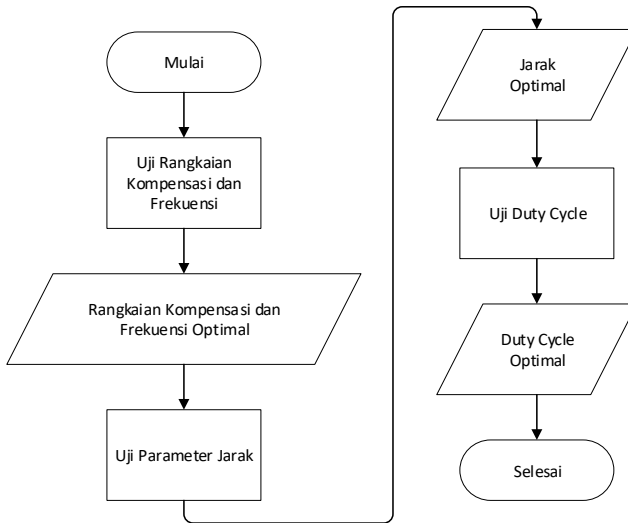
Pada sub-bab 3.2. telah dilakukan perancangan sub-sistem *transmitter* dimana nilai frekuensi resonansi telah ditentukan dari nilai kapasitansi dan induktansi dari rangkaian kompensasi. Pengujian pertama dari sub-sistem *transmitter* dilakukan untuk mengetahui keberhasilan dari H-Bridge *inverter*. Untuk mengetahui keberhasilan dari *inverter* yang telah dibuat maka dilakukan pengujian hingga didapatkan arus pada *inverter* bernilai maksimum.

Pada gambar 4.6 dapat diketahui bahwa *inverter* dapat mengubah listrik DC menjadi listrik AC dengan frekuensi 30-150 kHz. Output yang diinginkan dari *inverter* adalah gelombang persegi, namun dikarenakan adanya *noise* dan switching yang kurang sempurna dari MOSFET menjadikan gelombang yang dihasilkan mengalami distorsi.

Pada gambar 3.8 dan 3.9 serta sub-bab 2.1.1. telah dijelaskan skematik dari rangkaian kompensasi dan cara mencari nilainya. Dengan diketahui nilai induktansi kumparan *transmitter* adalah 323 uH dan nilai induktansi kumparan *receiver* senilai 311,7 maka dapat diketahui nilai-nilai rangkaian lain sebagai berikut sesuai dengan tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai komponen rangkaian kompensasi

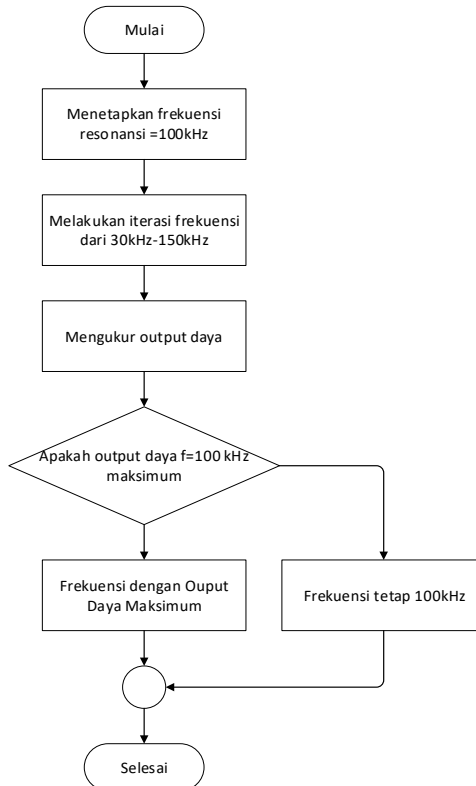
Rangkaian Kompensasi S-P	<i>C transmitter</i>	7,85 nF
	<i>C receiver</i>	8 nF
Rangkaian Kompensasi LCC	C1 pada <i>transmitter</i>	9,19 nF
	C1 pada <i>receiver</i>	9,6 nF
	C2 pada <i>transmitter</i>	53,9 nF
	C2 pada <i>receiver</i>	53,9 nF
	L2 pada <i>transmitter</i>	47 uH
	L2 pada <i>receiver</i>	47 uH



Gambar 4.6. Langkah-langkah pengujian sistem transfer daya nirkabel

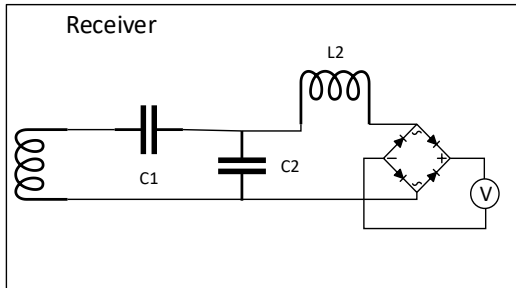


Gambar 4.7. Output dari rangkaian *inverter* pada frekuensi 100 kHz

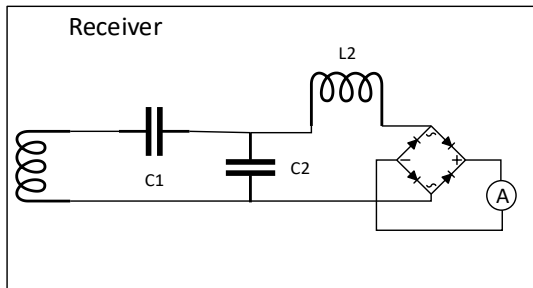


Gambar 4.8. Diagram Alir Penentuan Frekuensi Resonansi

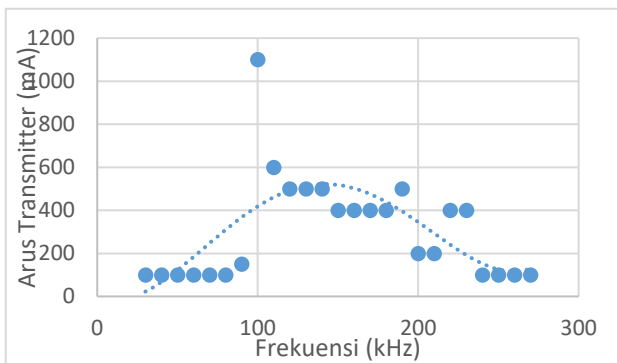
Frekuensi resonansi pada awalnya ditentukan pada nilai 100 kHz didasarkan pada nilai induktor dan kapasitor yang tersedia. Namun dikarenakan nilai induktor dan kapasitor pada pengukuran memiliki sedikit perbedaan dari nilai sesungguhnya maka dilakukan iterasi untuk menentukan nilai frekuesni resonansi yang sesungguhnya. Diagram alir penentuan frekuensi resonansi dapat dilihat pada gambar 4.8.



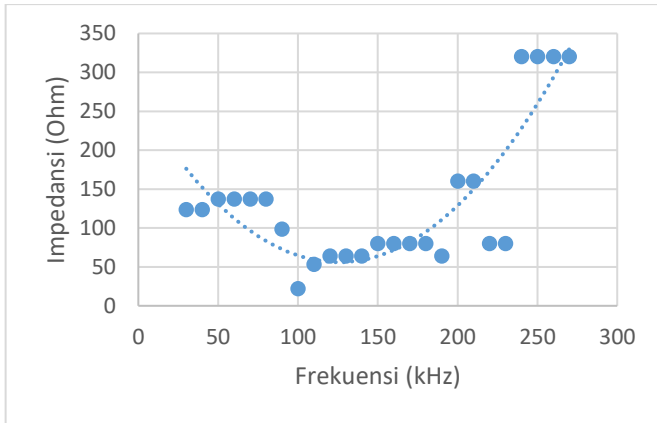
Gambar 4.8 Skema Pengujian Output Open Loop



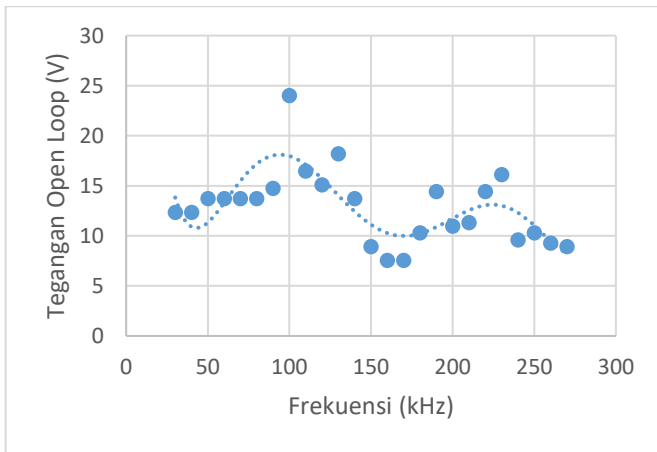
Gambar 4.9. Skema Pengujian Output Short Circuit



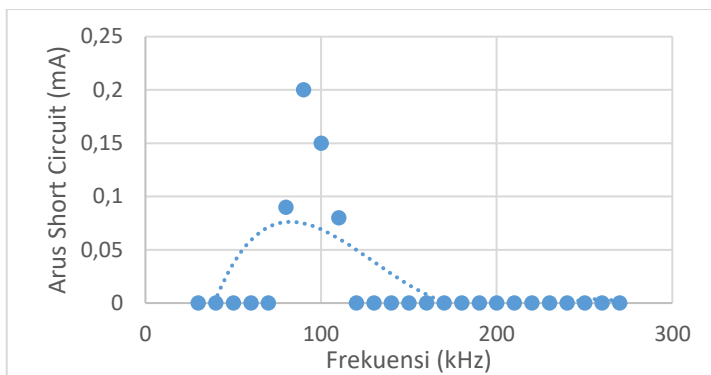
Gambar 4.10. Grafik arus pada *transmitter* terhadap frekuensi pada rangkaian kompensasi S-P



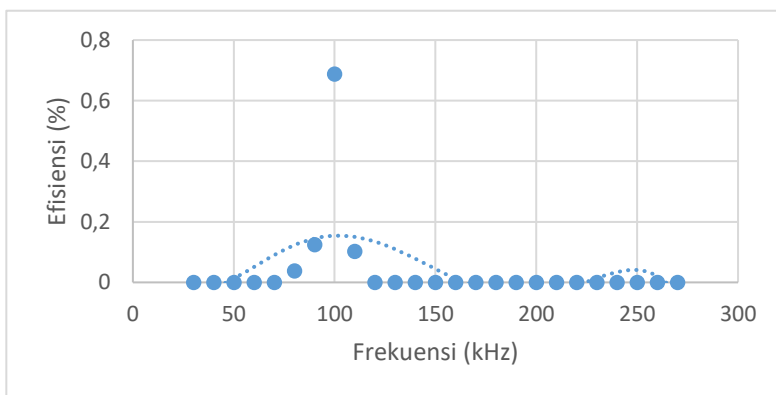
Gambar 4.11. Grafik impedansi pada *Transmitter* terhadap Frekuensi pada rangkaian kompensasi S-P



Gambar 4.12. Output Tegangan Open Loop Rangkaian Kompensasi S-P



Gambar 4.13. Arus short circuit Rangkaian Kompensasi S-P



Gambar 4.14. Efisiensi Transfer Daya Rangkaian Kompensasi S-P

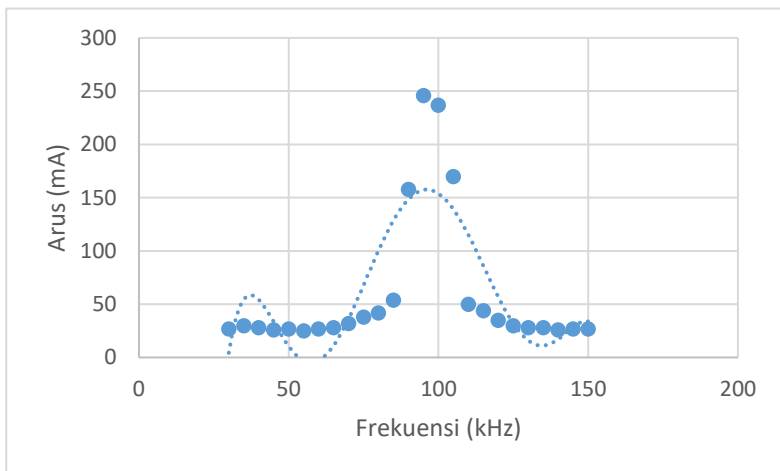
Dari hasil pengujian yang ditunjukkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.10 dan 4.11 dapat diketahui bahwa impedansi paling rendah adalah pada frekuensi 100 kHz dengan nilai ~ 50 ohm. Impedansi sebesar ini menyebabkan arus pada *transmitter* tidak dapat cukup besar.

Nilai impedansi yang besar ini menyebabkan daya yang dapat ditransfer relatif rendah. Selain itu impedansi yang cukup besar menyebabkan terjadi disipasi daya pada rangkaian. Hal ini menyebabkan rangkaian menjadi panas sehingga disipasi daya

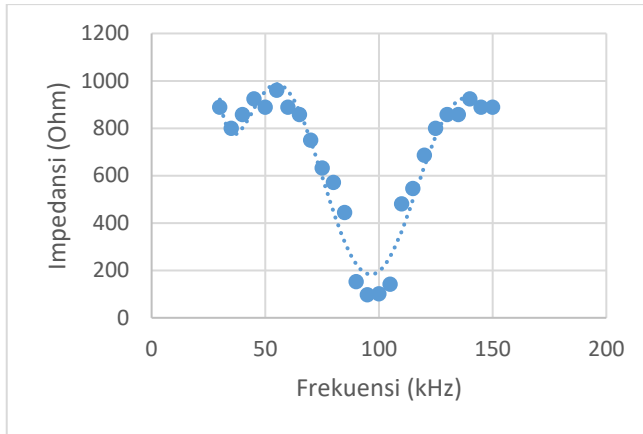
menjadi semakin besar.

Selain itu, pada grafik 4.12 dan 4.13 persebaran energi pada frekuensi-frekuensi yang diuji kurang terfokus pada satu frekuensi melainkan cenderung menyebar. Hal ini menyebabkan energy yang dipancarkan oleh *transmitter* nantinya akan sulit ditangkap oleh satu *receiver*. Akibatnya daya yang diterima dan efisiensi transfer daya menjadi sangat kecil seperti yang dibuktikan pada grafik 4.14.

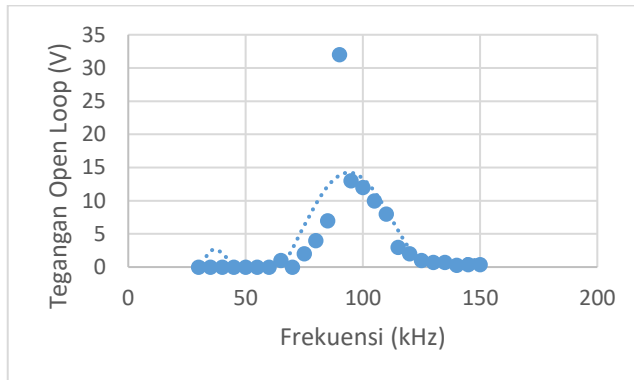
Pengujian dengan rangkaian kompensasi S-P membuktikan bahwa diperlukan rangkaian kompensasi yang lebih baik. Untuk itu dilakukan percobaan kedua yang menggunakan rangkaian kompensasi LCC dimana pada rangkaian kompensasi ditambahkan satu pasang induktor dan kapasitor yang bertujuan untuk memfokuskan transfer daya pada satu frekuensi. Hasil pengujian dapat ditinjau pada grafik 4.15 - 4.19.



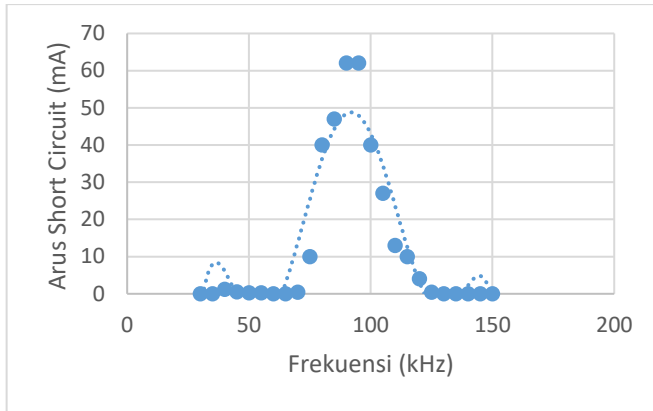
Gambar 4.15. Grafik arus pada *Transmitter* terhadap Frekuensi pada Rangkaian Kompensasi LCC



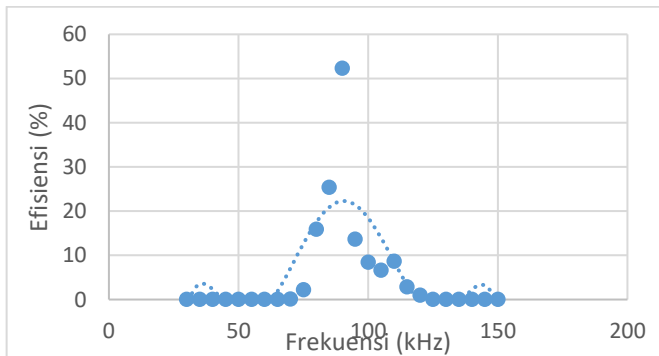
Gambar 4.16. Grafik Impedansi *Transmitter* terhadap Frekuensi pada Rangkaian Kompensasi LCC



Gambar 4.17. Output Tegangan Open Loop Rangkaian Kompensasi LCC



Gambar 4.18. Arus Short Circuit Rangkaian Kompensasi LCC



Gambar 4.19. Grafik Efisiensi Rangkaian Kompensasi LCC terhadap Frekuensi

Hasil pengujian dengan rangkaian kompensasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14 dan 4.19 menunjukkan bahwa rangkaian kompensasi LLC lebih baik dimana daya yang ditransfer lebih terfokus pada frekuensi 91 kHz. Hal ini menyebabkan daya yang diterima pada frekuensi 91 kHz jauh lebih besar daripada frekuensi lain sehingga efisiensinya pun menjadi lebih besar.

Dari lima parameter yang diuji untuk menentukan jenis rangkaian kompensasi terbaik didapatkan data-data yang dapat dirangkum dalam tabel 4.2

Tabel 4.3. Perbandingan Rangkaian kompensasi S-P dan LCC

	Kompensasi S-P	Kompensasi LCC
Arus <i>Transmitter</i> Maksimum	1,1 Ampere pada 100 kHz	246 mA pada 95 kHz
Impedansi <i>Transmitter</i> minimum	22 Ohm pada Frekuensi 100 kHz	98 Ohm pada frekuensi 95 kHz
Tegangan Open Loop Maksimum	24 Volt pada 100 kHz	32 Volt pada 91 kHz
Arus Short Circuit Maksimum	0,2 mA pada 100 kHz	62 mA pada 91 kHz
Efisiensi Maksimum	0,7 persen pada 100 kHz	52 persen pada 91 kHz

4.1.2. Pengujian Parameter Uji Jarak

Setelah didapatkan jenis rangkaian kompensasi dan jenis kumparan terbaik berdasar percobaan sebelumnya maka kali ini akan dilakukan pengujian efisiensi terhadap jarak. Pada pengujian jarak frekuensi yang digunakan adalah sebesar 91 kHz sesuai dengan hasil pengujian jenis rangkaian kompensasi dan kumparan.

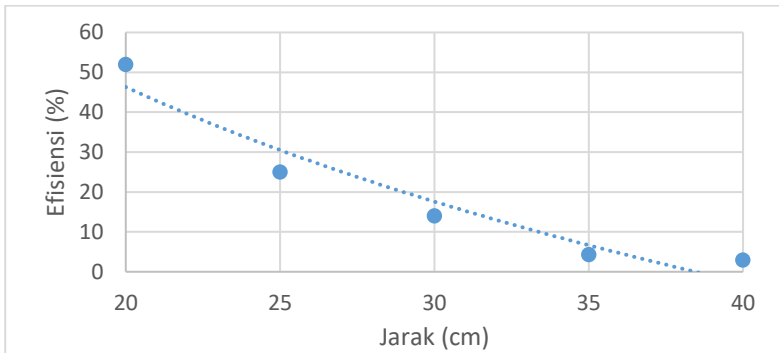
Hasil pengujian transfer daya menunjukkan bahwa daya yang ditransfer dari *receiver* menuju *transmitter* masih sanggup digunakan untuk menyalakan lampu 5 watt dengan gap sebesar 40 cm seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.20. Pada gambar dapat dilihat lampu bohlam masih dapat menyala dengan daya yang ditransfer dari *transmitter*.



Gambar 4.20. Transfer daya dengan gap sebesar 40 cm

Tabel 4.4. Hasil pengujian Efisiensi dengan parameter Jarak

Jarak (cm)	Efisiensi (%)
20	52
25	25
30	14
35	4,3
40	3



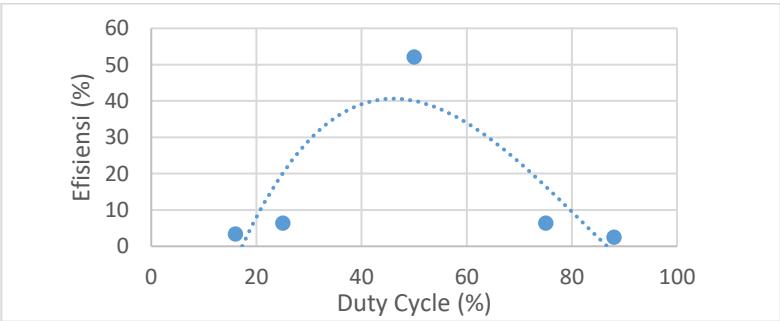
Gambar 4.21. Grafik efisiensi transfer daya dengan jarak yang diubah-ubah

4.1.3. Pengujian Parameter *Duty cycle*

Pada pengujian sebelumnya *duty cycle* dari *inverter* diatur pada nilai 50%. Untuk mengetahui apakah nilai *duty cycle* dapat digunakan untuk mengatur daya yang dikirimkan menuju *receiver* maka dilakukan pengujian dengan mengatur *duty cycle* pada nilai minimum 16 persen dan maksimum 88 persen.

Tabel 4.4. Hasil pengujian Efisiensi dengan Parameter *duty cycle* inverter pada transmitter

PWM (%)	V in (V)	A in (mA)	V out (Vpp)	A out (mA)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi (%)
16	24	140	46	7	3,36	0,1127	3,4
25	24	190	59	14	4,56	0,2891	6,3
50	24	120	80	20	2,88	1,5	52
75	24	190	59	14	4,56	0,2891	6,3
88	24	140	34	7	3,36	0,0833	2,5



Gambar 4.22. Grafik efisiensi transfer daya dengan nilai *duty cycle* yang diubah-ubah

4.2. Pengujian Kontrol Sumber dan Pengisian Daya

Dikarenakan pada transfer daya nirkabel kelebihan beban akan terbuang menuju lingkungan sekitar maka diperlukan kontrol untuk mengatur daya yang dibangkitkan pada *inverter* agar berada pada nilai yang seperlunya saja yaitu berdasarkan kondisi beban. Selain itu, baterai merupakan sebuah komponen aktif yang memiliki nilai tegangan yang berubah-ubah. Tanpa adanya kontrol untuk pengisian daya maka dapat terjadi *error* yang bisa merusak baterai.

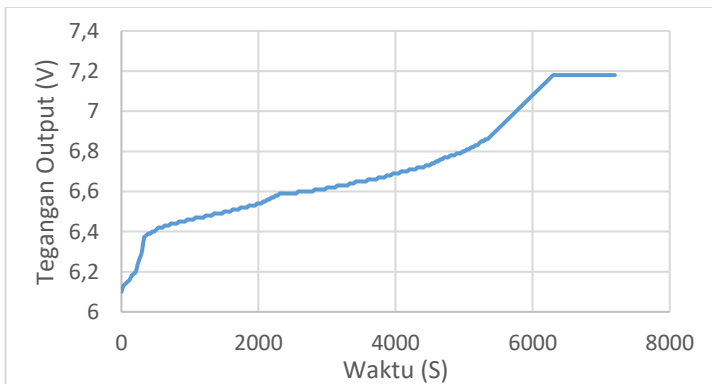
4.2.1. Pengujian kontrol pengisian daya

Pengujian sistem pengisian daya dilakukan pada saat tegangan baterai sebesar 6 Volt. Berdasarkan perancangan sistem pengujian sistem pengisian daya akan dihentikan saat tegangan output mencapai 7,18 Volt yang merupakan tegangan *floating*.

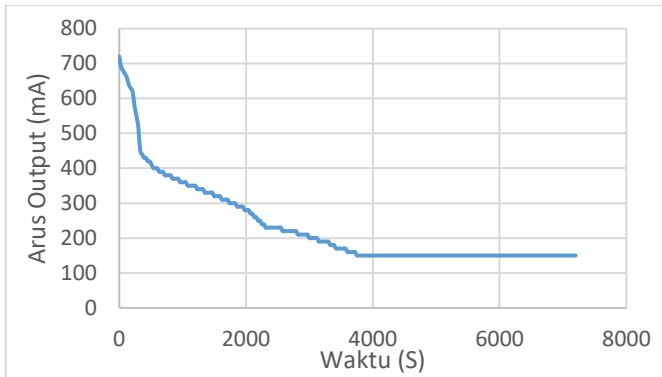
Sumber daya sebagai input dari sistem kontrol pengisian daya menggunakan *adjustable DC supply* dari laboratorium. Input tidak menggunakan daya output dari sistem transfer daya nirkabel dikarenakan sistem tersebut tidak dapat beroperasi dalam waktu lama secara terus-menerus. Namun untuk menguji keberhasilan sistem, maka dilakukan pengujian dengan input dari sistem transfer daya nirkabel selama 10 menit.



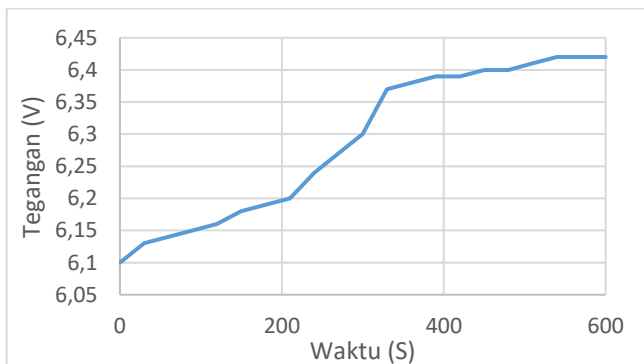
Gambar 4.23. Pengujian arus output dari rangkaian kontrol pengisian daya



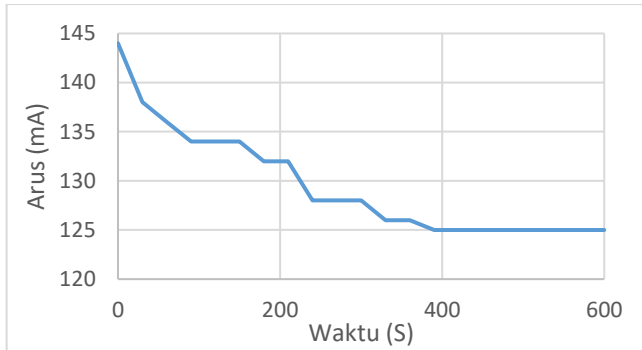
Gambar 4.24. Tegangan output rangkaian pengisi daya terhadap waktu dengan input *power supply* DC



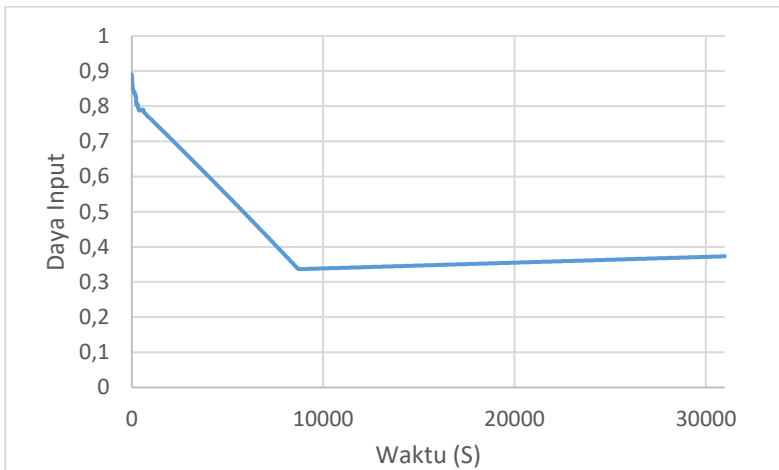
Gambar 4.25. Arus output rangkaian pengisi daya terhadap waktu dengan input *power supply*



Gambar 4.26. Tegangan output rangkaian pengisi daya terhadap waktu dengan input sistem transfer daya nirkabel



Gambar 4.27. Arus output rangkaian pengisi daya terhadap waktu dengan input sistem transfer daya nirkabel



Gambar 4.28. Daya input yang dibutuhkan kontrol pengisi daya dengan input sistem transfer daya nirkabel

Hasil pengujian sistem kontrol pengisi daya dengan input DC supply yang ditunjukkan pada gambar 4.23 dan 4.24 membuktikan bahwa kontrol pengisian daya dapat berjalan dengan baik. Pada detik-detik awal arus keluaran dari pengisi daya maksimum pada nilai 720 mA. Kondisi constant current kurang terlihat dikarenakan baterai mulai diisi pada tegangan 6 Volt.

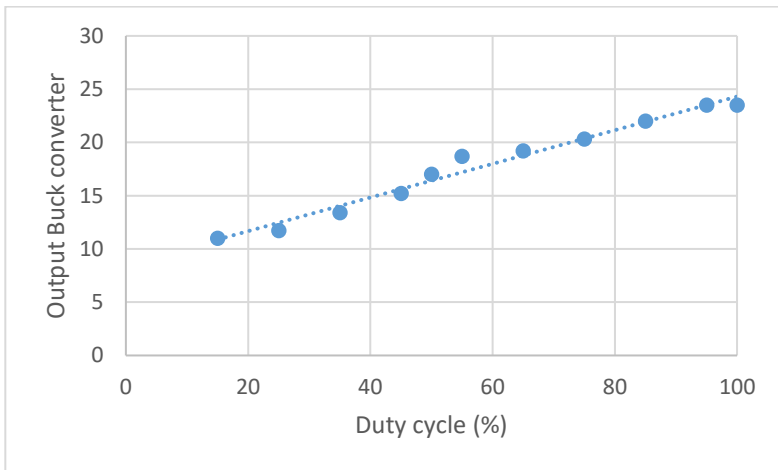
Tegangan keluaran pada detik-detik awal bernilai rendah dimulai pada nilai 6,1 Volt menyesuaikan nilai tegangan baterai.

Setelah itu nilai tegangan output akan naik secara perlahan karena tegangan baterai juga terus naik selama pengisian daya berlangsung. Kenaikan tegangan output ini ditujukan agar arus tetap mengalir dari pengisi daya menuju baterai dan bukan sebaliknya.

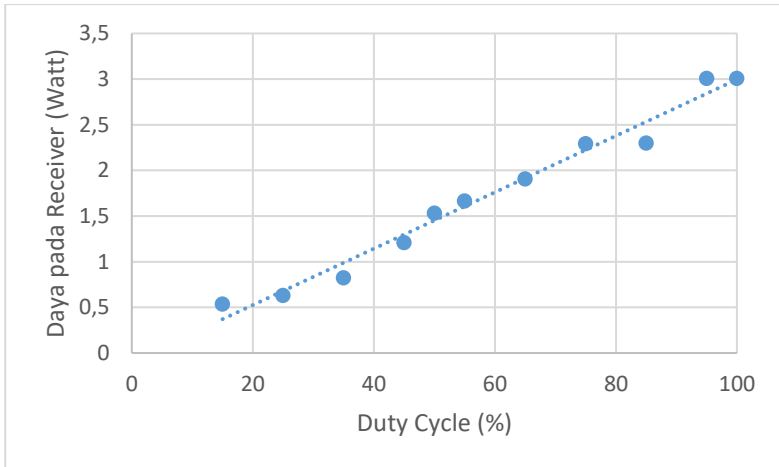
Hasil grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.24 dan 4.25 berupa grafik pengisian daya dengan input dari sistem transfer daya nirkabel. Tren yang ditunjukkan pada grafik 4.24 dan 4.25 serupa dengan dengan yang ditunjukkan pada gambar 4.27 dan 4.28 yang menunjukkan penggabungan sistem dapat diwujudkan. Namun dikarenakan *losses* pada sistem transfer daya nirkabel maka terjadi penurunan daya pada output sistem kontrol daya.

4.2.2. Pengujian kontrol sumber

Pengujian kontrol sumber dilakukan dengan modul *buck converter* LM2596 yang telah dimodifikasi. Hasil dari pengujian berupa grafik tegangan terhadap *input duty cycle* yang dapat ditinjau pada gambar 4.28.



Gambar 4.29. Output *buck converter* terhadap *duty cycle*



Gambar 4.30. Daya yang diterima *receiver* terhadap *duty cycle buck converter*

Gambar 4.29 menunjukkan bahwa daya yang diterima oleh *receiver* berbanding lurus dengan *duty cycle* pada PWM yang mengatur tegangan *buck converter*. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengontrol *duty cycle* maka daya yang ditransmisikan juga dapat diatur nilainya. Semakin besar nilai tegangan pada baterai maka semakin kecil daya yang dibutuhkan untuk transfer daya sehingga *duty cycle* juga semakin kecil.

Dengan meninjau gambar 4.30 beserta data pada tabel 4.5 dan daya yang dibutuhkan sistem kontrol pengisi daya untuk mengisi baterai pada gambar 4.28 maka dapat dibuat algoritma dan program Arduino untuk pengisi daya sebagai berikut :

```
double tegangan = 2 * analogRead(sensor);

if (tegangan >= 6 && tegangan <= 6.2)
{ val = 96; // duty cycle 45%}
else if (tegangan > 6.2 && tegangan <= 6.3)
{ val = 108; // duty cycle 35%}
else if (tegangan > 6.3 && tegangan <= 6.38)
{ val = 127; // duty cycle 25%}
else
```

```
{ val = 32; // duty cycle 100%}
analogWrite(PWMPin, val);
```

Tabel 4.5. Hasil pengujian kontrol sumber dengan *buck converter*

<i>Duty cycle</i> untuk Mengatur <i>Buck Converter</i> (%)	Tegangan Output <i>Buck Converter</i> (Volt)	Daya yang diterima pada <i>Receiver</i> (Watt)
100	23,5	3,007
95	23,5	3,007
85	22	2,2991
75	20,3	2,2923
65	19,2	1,9053
55	18,7	1,6629
50	17	1,5309
45	15,2	1,21
35	13,4	0,8235
25	11,7	0,6308
15	11	0,5355

Tabel 4.6. Tabel kontrol *duty cycle* terhadap tegangan baterai

Tegangan Baterai	<i>Duty cycle</i>
6 Volt - 6,2 Volt	35 %
6,2 Volt – 6,3 Volt	25 %
6,3 Volt – 6,38 Volt	15 %
> 6,38 Volt	100 %

Dari data yang didapatkan pada pengujian diambil nilai efisiensi yang dihitung dengan rumus :

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Daya yang diperlukan untuk Charging}}{\text{Daya pada Receiver}} \times 100 \quad (5.1)$$

Nilai efisiensi yang didapatkan tiap 30 detik selama 30.990 detik tersebut kemudian akan dirata-rata. Dari data efisiensi ditemukan bahwa nilai efisiensi rata-rata sistem dengan kontrol sumber mencapai 71,5% sedangkan efisiensi rata-rata sistem tanpa kontrol sumber hanya sebesar 27,9%. Sehingga dapat disimpulkan

bahwa adanya kontrol sumber sangat diperlukan untuk menunjang sistem transfer daya nirkabel yang efisien.

4.3. Analisis Keseluruhan Pengujian Sistem

Secara keseluruhan, sistem mampu bekerja dengan baik sesuai tujuan pembuatan. Pertama, sistem transfer daya nirkabel dapat mengirimkan daya dari *transmitter* menuju *receiver*. Kedua, kontrol pengisi daya CC-CV dapat menjaga keawetan baterai dengan mencegah terjadinya overcharge.

Tabel 4.7. Spesifikasi Alat

Sistem	Parameter	Nilai
Transfer Daya Nirkabel	Frekuensi resonansi	91 kHz
	Tegangan <i>open loop</i>	32 Volt
	Arus <i>short cicuit</i>	62 mA
	Jarak	20 cm
	Efisiensi	52 %
Kontrol Sumber dan Pengisi Daya	Tegangan <i>floating</i>	7,18 Volt
	Tegangan Sumber	10 V – 24 V

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan pada penelitian ini didapat beberapa kesimpulan yang didasarkan pada pengujian sistem. Secara keseluruhan sistem dapat berjalan secara lancar, baik pada sistem transfer daya nirkabel maupun sistem pengisian daya. Meskipun pada saat penggabungan sistem terjadi penurunan daya yang menyebabkan output dari sistem pengisian daya berkurang.

Dalam perancangan sistem dan pengujian terdapat beberapa hal yang benar-benar harus diperhatikan yaitu spesifikasi dan kemampuan sistem. Untuk menghindari terjadinya kerusakan pada komponen, peneliti diharuskan membatasi daya yang masuk pada tiap komponen dan memperhatikan lama pengujian.

Pada hasil penelitian telah terwujud stasiun pengisian baterai nirkabel untuk mobile robot bertenaga surya. Pada sistem transfer daya nirkabel, metode resonant inductive coupling berhasil mengirimkan daya pada frekuensi 91 kHz. Dengan rangkaian kompensasi LCC efisiensi meningkat secara signifikan dibandingkan rangkaian dengan kompensasi S-P. Efisiensi transfer daya paling tinggi dicapai pada jarak 20 cm dengan nilai mencapai 52 persen.

Pengisian daya menggunakan kontrol CC-CV dapat menjaga terjadinya *overcharge* pada baterai dengan menurunkan arus dan mempertahankan tegangan pada kondisi penuh. Sedangkan kontrol pada sumber daya dapat mengatur daya yang dikirim oleh *transmitter* agar tidak terlalu besar.

Pada sumber daya DC terdapat kontrol tegangan dengan menggunakan *buck converter* yang dikontrol dengan menggunakan PWM. Dengan adanya kontrol daya maka efisiensi pengisian daya dapat ditingkatkan dari awalnya bernilai 27,9 % menjadi 71,5%.

5.2. Saran

Pengembangan sistem transfer daya nirkabel ke depan dapat menggunakan saran berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan penulis pada buku ini. Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam transfer daya nirkabel adalah efek dari *misalignment* antara kumparan *transmitter* dan *receiver*. Misalignment dapat menyebabkan penurunan efisiensi dari transfer daya yang tentunya akan merugikan pengguna.

Untuk itu diperlukan adanya penelitian untuk mengetahui efek *misalignment* terhadap sistem dan cara mengatasinya.

Selain itu, diperlukan juga adanya penelitian yang menyangkut jenis *inverter* yang digunakan. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan *inverter* lain dengan efisiensi yang lebih tinggi untuk membangkitkan listrik AC dengan frekuensi tinggi dan daya yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Jiang *et al.*, “A Low-Frequency Versatile Wireless Power Transfer Technology for Biomedical Implants,” *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 7, no. 4, pp. 526–535, Aug. 2013.
- [2] V. Yashchenko, V. Turgaliev, D. Kozlov, I. Vendik, and A. Katsay, “Adaptive impedance-matching network for wireless power transfer system with off-center receiver,” in *2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS)*, 2017, pp. 2185–2189.
- [3] S. Samanta, A. K. Rathore, and D. J. Thrimawithana, “Analysis and Design of Current-Fed Half-Bridge (C)(LC)–(LC) Resonant Topology for Inductive Wireless Power Transfer Application,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 53, no. 4, pp. 3917–3926, Jul. 2017.
- [4] X. Mou and H. Sun, “Analysis of multiple segmented transmitters design in dynamic wireless power transfer for electric vehicles charging,” *Electron. Lett.*, vol. 53, no. 14, pp. 941–943, 2017.
- [5] I. R. H. Yaldi, S. K. A. Rahim, and M. R. Ramli, “Compact rectifier design for RF energy harvesting,” in *Applied Electromagnetics (APACE), 2016 IEEE Asia-Pacific Conference on*, 2016, pp. 258–262.
- [6] Y. Do Chung and J. Kim, “Conceptual design and characteristics of wireless power charging system for HTS magnet using copper resonance coupling coils,” in *Electromagnetic Compatibility (APEMC), 2017 Asia-Pacific International Symposium on*, 2017, pp. 141–143.
- [7] A. Bomber and L. Rosa, “Wireless Power Transmission: An Obscure History, Possibly a Bright Future,” *Phys. 464 Appl. Opt.*, pp. 1–15, 2006.
- [8] R. Murakami, M. Inamori, and M. Morimoto, “Effects of Q factor on wireless power transmission by magnetic resonant coupling,” 2016, pp. 139–143.
- [9] D. I. Pratiwi, M. Rivai, and F. Budiman, “Rancang Bangun Deteksi Jalur Pipa Terpendam Menggunakan Mobile Robot dengan Metal Detector,” *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, pp. 168–173, 2017.
- [10] H. Huang, “Designing an LLC Resonant Half-Bridge Power Converter,” p. 30.
- [11] S. Li, W. Li, J. Deng, T. D. Nguyen, and C. C. Mi, “A Double-Sided

- LCC Compensation Network and Its Tuning Method for Wireless Power Transfer,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, no. 6, pp. 2261–2273, Jun. 2015.
- [12] C. S. Lee, H. C. Lin, and S.-Y. Lai, “Development of Fast Large Lead-Acid Battery Charging System Using Multi-state Strategy,” vol. 2, p. 10, 2013.
- [13] A. Q. Munshi, K. A. Sayeed, and M. Mishu, “Intelligent 3-stage Lead Acid Battery Auto Charger,” p. 6.
- [14] L. Riadhi, M. Rivai, and F. Budiman, “Sistem Pengaturan Oksigen Terlarut Menggunakan Metode Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler Teensy Board,” *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, Sep. 2017.

LAMPIRAN A

Tabel hasil pengujian

a. Hasil Pengujian *Transmitter* dan *Receiver* dengan Rangkaian Kompensasi S-P yang ditunjukkan pada gambar 4.X

Frekuensi (kHz)	Arus Input <i>Transmitter</i> (mA)	Impedansi Rangkaian (Ohm)	Tegangan Open Loop (Volt)
30	100	360	12
40	100	360	12
50	100	400	13
60	100	400	13
70	100	400	14
80	100	400	14
90	150	286	15
100	1100	63	24
110	600	53	16
120	500	64	15
130	500	64	18
140	500	64	14
150	400	80	9
160	400	80	8
170	400	80	8
180	400	80	10
190	500	64	14,4
200	200	160	11
210	200	160	11
220	400	80	14
230	400	80	16
240	100	320	10
250	100	320	10
260	100	320	9
270	100	320	9

b. Hasil Pengujian *Transmitter* dan *Receiver* dengan Rangkaian Kompensasi LLC

Frekuensi	Arus	Tegangan	Impedansi
30	27	24	889
35	30	24	800
40	28	24	857
45	26	24	923
50	27	24	889
55	25	24	960
60	27	24	889
65	28	24	857
70	32	24	750
75	38	24	632
80	42	24	571
85	54	24	444
90	158	24	152
95	246	24	98
100	237	24	101
105	170	24	141
110	50	24	480
115	44	24	545
120	35	24	686
125	30	24	800
130	28	24	857
135	28	24	857
140	26	24	923
145	27	24	889
150	27	24	889

LAMPIRAN B

Program Teensy

Berikut adalah program yang digunakan untuk kontrol pengisi daya dengan menggunakan Teensy dan Arduino IDE

```
const int PWMPin = 2;
const int PWMPin2 = 14;
const int sensor = 15;
int val = 0;
int duty_cycle = 128 - val;
void setup() {
    pinMode(PWMPin, OUTPUT);
    pinMode(PWMPin2, OUTPUT);
    pinMode(sensor, INPUT);
    analogWriteFrequency(2, 91000); //Set frekuensi PWM ke 225kHz
                                   --> Pin yang ikut berubah
                                   frekuensinya 2, 7, 8, 35, 36, 37,
                                   38
    analogWriteResolution(7); //Nilai 0-127
}

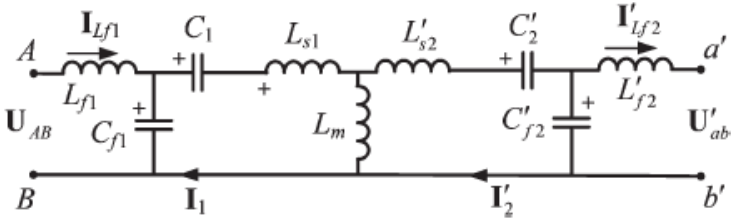
void loop()
{
    double tegangan = 2 * analogRead(sensor);
    if (tegangan >= 6 && tegangan <= 6.2)
    {
        val = 96; // duty cycle 75%
    }
    else if (tegangan > 6.2 && tegangan <= 6.3)
    {
        val = 108; // duty cycle 85%
    }
    else if (tegangan > 6.3 && tegangan <= 6.38)
    {
        val = 127; // duty cycle 100%
    }
    else
    {

```

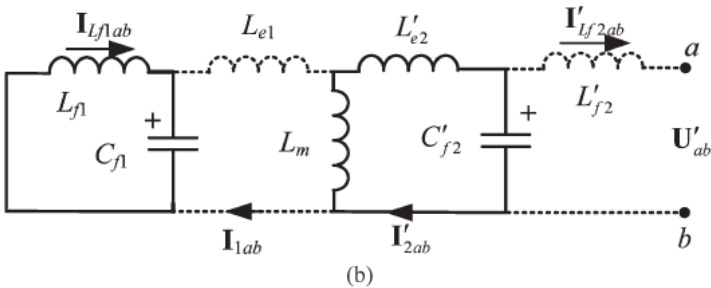
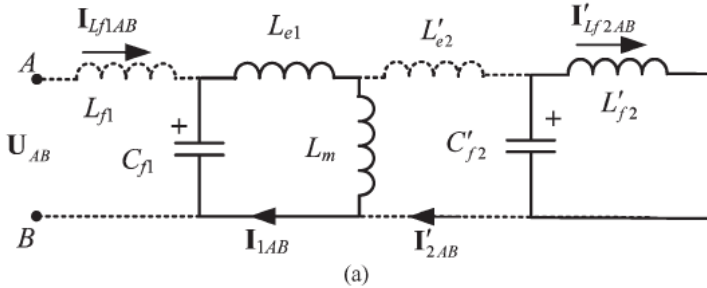
```
    val = 32; // duty cycle 25%  
  }  
  analogWrite(PWMPin, duty_cycle);  
  analogWrite(PWMPin2, 64);  
}
```

LAMPIRAN C

Pembuktian untuk persamaan 2.6 didapatkan dari persamaan rangkaian ekuivalen dari *transmitter* dan *receiver* yang dapat ditinjau pada gambar 1 [11].



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen kompensasi LCC *transmitter* dan *receiver*



Gambar 2. Kondisi rangkaian pada saat resonansi (a) saat U_{AB} saja yang diaplikasikan (b) saat U'_{ab} saja yang diaplikasikan

$$\begin{aligned}
L_m &= k \cdot L_1 \\
L_{s1} &= (1-k) \cdot L_1 \\
L'_{s2} &= (1-k) \cdot L_2 / n^2 \\
L'_{f2} &= \frac{L f^2}{n^2} \\
C'_2 &= n^2 \cdot C_2 \\
C'_{f2} &= n^2 \cdot C_{f2} \\
U'_{ab} &= \frac{U_{ab}}{n} \tag{1}
\end{aligned}$$

Kemudian kondisi resonansi disesuaikan dengan persamaan 2.6 untuk membuktikan bahwa pada saat rangkaian beresonansi maka arus dan tegangan akan memiliki fasa yang sama. Untuk analisis maka digunakan teorema superposisi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 [11].

$$L_{e1} = 1/j\omega_0 \cdot \left(\frac{1}{j\omega_0 C_1} + j\omega_0 L_{s1} \right) = L_{f1} - k \cdot L_1 \tag{2}$$

$$L'_{e2} = 1/j\omega_0 \cdot \left(\frac{1}{j\omega_0 C'_2} + j\omega_0 L'_{s2} \right) = L'_{f2} - k \cdot L_1 \tag{3}$$

$$L_{e1} + L_m = L_{f1} - k \cdot L_1 + k \cdot L_1 = L_{f1} \tag{4}$$

$$I_{1AB} = \frac{U_{AB}}{j\omega_0 L_{f1}} \tag{5}$$

$$I'_{f2AB} = \frac{k U_{AB} L_1}{j\omega_0 L_{f1} L'_{f2}} \tag{6}$$

Saat U'_{ab} diaplikasikan, analisis serupa dengan saat U_{Ab} diaplikasikan.

$$I'_{2ab} = - \frac{U'_{ab}}{j\omega_0 L'_{f2}} \tag{7}$$

$$I_{L_{f1}ab} = \frac{k U'_{ab} L_1}{j\omega_0 L_{f1} L'_{f2}} \tag{8}$$

$$U_{AB} = U_{AB} \angle 0^0 \tag{9}$$

$$U'_{ab} = \frac{U'_{ab}}{j} = U'_{ab} \angle \phi = U'_{ab} \angle -90^0 \tag{10}$$

$$I_{lfl} = I_{lfab} = \frac{kU'_{ab}L_1}{\omega_0 L_{f1} L'_{f2}} \angle 0^0 = \frac{kU_{ab}\sqrt{L_1 L_2}}{\omega_0 L_{f1} L_{f2}} \angle 0^0 \quad (11)$$

$$I_1 = I_{1AB} = \frac{U_{AB}}{j\omega_0 L_{f1}} = \frac{U_{AB}}{\omega_0 L_{f1}} \angle -90^0 \quad (12)$$

$$I_2 = \frac{I'_{f2}}{n} = \frac{I'_{f2ab}}{n} = \frac{U'_{ab}\sqrt{L_1 L_2}}{n \cdot \omega_0 L'_{f2}} \angle 0^0 = \frac{U_{ab}}{\omega_0 L_{f2}} \angle 0^0 \quad (13)$$

$$I_{lf2} = \frac{I'_{Lf2}}{n} = \frac{I'_{Lf2AB}}{n} = \frac{kU_{AB}\sqrt{L_1 L_2}}{\omega_0 L_{f1} L_{f2}} \angle -90^0 \quad (14)$$

Persamaan fasa pada persamaan 9 dan 11 menunjukkan bahwa rangkaian berada dalam kondisi resonansi, begitu pula dengan persamaan 10 dan 14 yang menunjukkan tegangan dan arus output berada dalam fasa yang sama.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 31 Juli 1996. Sebagai anak kedua dari empat bersaudara, penulis mengawali kegiatan pendidikan formal di SDIT Ghilmani Surabaya, yang kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 12 Surabaya, SMA Negeri 2 Surabaya dan pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Elektro ITS. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif dalam kepanitian, kegiatan sosial, organisasi, dan kompetisi, mulai dari tingkat jurusan hingga tingkat nasional.

Selain itu, penulis juga turut berpartisipasi sebagai asisten praktikum di bidang studi elektronika.

Email : amirul.haq5623@gmail.com
Hp/WA : 082234897597
Instagram : @amirulhaq22
Facebook : Amirul Haq
Line : amirul_haq